

文章编号: 1674-5566(2017)02-0243-08

DOI:10.12024/jsou.20160501775

土地利用/覆被变化对太湖贡湖湾水质影响的研究

李博炎¹, 张饮江^{1,2}, 彭群洲¹, 宋盈颖¹, 张雨婷¹, 方淑波¹

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 水域环境生态上海高校工程研究中心, 上海 201306)

摘要: 土地利用/覆被变化对湖泊水质的定量化影响研究是湖泊生态学的研究热点之一。运用贡湖湾遥感影像数据, 四季的总氮、总磷、叶绿素 a、透明度水质参数, 从 5 个不同缓冲区和贡湖湾尺度, 深入分析了土地利用/覆被变化对湖区水质的影响。研究发现贡湖湾水体污染物浓度与农业用地、建设用地呈显著正相关, 与林地呈显著负相关, 与草地、未利用地相关性不明显; 农业用地、建设用地和林地对贡湖湾水质的影响存在尺度效应, 贡湖湾近域地带的土地利用/覆被对湖泊水质的影响比远离湖泊地带更为显著。研究表明, 贡湖湾林地具有较强的减水减沙效应, 对水质改善有着积极作用。在贡湖湾沿岸 0~2 km 内开展植树造林、退耕还林工作, 实施湿地恢复工程, 有利于防治水土流失, 保护生态环境。

关键词: 贡湖湾; 土地利用/覆被; 缓冲区; 水质; 相关性分析; 生态恢复

中图分类号: X 524 **文献标志码:** A

水体污染不仅来源于河道内源性污染, 更与人类活动等造成的外源性污染息息相关。土地利用是人类活动最直接的表现形式, 而土地利用/覆被变化(Land use/cover change)则是土地利用活动的外在表现, 是人类利用土地的自然属性和社会属性来满足自身发展的动态变化过程^[1]。随着全球工农业的快速发展和城镇化进程的加速, 由土地利用/覆被变化引起的水环境效应已成为国际学术界的热点问题之一。国内外研究表明, 土地利用/覆被变化对水环境具有重要的影响, 土地利用/覆被类型及其管理模式的不同会导致土壤侵蚀, 营养物随地表径流流失, 从而造成大规模的非点源污染^[2-7]。为了保护 and 改善区域水环境, 研究区域内水土相互作用的机理和过程就变得尤为重要。

国内外学者对土地利用/覆被变化与水质的作用关系进行了相关研究。SMART 等^[8]、孙金华等^[9]、LI 和 ZHANG^[10]、曹芳芳等^[11]将流域分解为若干子流域, 作为分析统计样本, 监测其水质特征, 从子流域尺度分析土地利用/覆被变化和

水质的相关性; NASH 等^[12]、管宝红等^[13]、张殷俊等^[14]围绕采样点选取不同的缓冲半径, 从空间尺度研究了土地利用/覆被与河流之间的距离对流域水质的影响, 证实了土地利用/覆被变化引起的非点源污染是目前污染水环境的重要来源。准确边界土地利用的水质响应研究包括全流域、子流域范围和缓冲区范围 3 种研究尺度, 目前究竟用哪种尺度研究问题更为准确仍存在较大的争论^[15-16]。造成这种不确定性的原因一方面是每个流域的自然属性不同, 另一方面造成水质恶化的污染物及其迁移转化过程也不相同, 因此确定一个适用于任何流域的研究尺度就变得尤为困难。

本研究选取 2014 年贡湖湾水质监测数据, 基于 ENVI 和 ArcGIS 平台, 建立了土地利用/覆被数据库, 并从 0~1、1~2、2~3、3~4、4~5 km 5 种缓冲区尺度和贡湖湾尺度分析了研究区土地利用/覆被变化与水质的相关性, 探讨了区域内水土相互作用机理, 以期对贡湖湾水源地水污染的防治, 以及优化贡湖湾土地利用提供科学依

收稿日期: 2016-05-13 修回日期: 2016-09-01

基金项目: 国家水专项(2013ZX07101014004); 上海市重点学科建设项目(Y1110, S30701)

作者简介: 李博炎(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水域环境生态学。E-mail: byli_girl@126.com

通信作者: 张饮江, E-mail: yjzhang@shou.edu.cn

据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况和数据来源

贡湖湾位于太湖东北部,以望虞河为界,分属无锡市和苏州市(图1)。南北宽约17 km,东西长约16 km,水域面积约170 km²,平均水深1.82 m。东、西、北环陆,西南敞开与大太湖相通,是长江水入太湖“引江济太”的通道。湖泊水质相对较好,是无锡和江苏重要水源地、太湖鱼

类重要的产卵地和索饵地。

贡湖湾处于平原河网地区,位于太湖流域中心地带,自然条件优越,交通便利,经济发达。贡湖湾地带人口密度大,生活污染负荷重,硬质地面径流污染和航运污染导致水生态系统严重退化,湿地大面积减少,生物多样性减弱,河道及湖泊护岸生态功能退化。2007年5月,贡湖湾蓝藻和“湖泛”大规模爆发,直接威胁到水源地的安全,引发了无锡市的供水危机。因此,保障供水水源地的水质安全成为了首要任务^[17-18]。

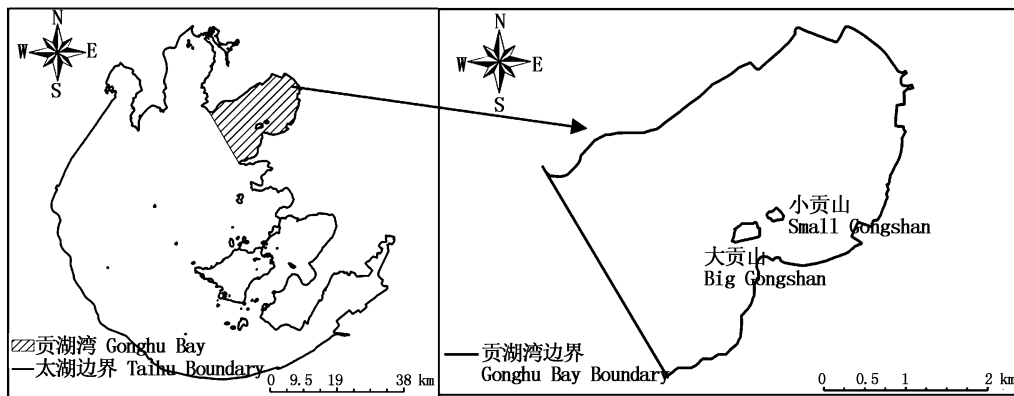


图1 研究区地理位置示意图

Fig. 1 Geographic location of study area

本研究采用的陆地资源卫星影像数据(Landsat Thematic Mapper,简称TM)来源于美国地质勘探局(United States Geological Survey),轨道号为119-38。TM数据包含7个波段,各波段的分辨率均为30 m(band 6除外),辐射分辨率为8 bit,含云量为0.02%。本研究选用的非遥感数据,包括研究区1:10 000地形图和太湖流域水环境监测中心提供的2014年贡湖湾水质监测数据。

1.2 确定研究尺度

不同尺度的土地利用/覆被变化研究会得到不同结果。水质监测数据反映水体污染状况,从贡湖湾尺度分析土地利用/覆被变化与水质的相关性更能体现其自然属性;从缓冲区尺度分析贡湖湾土地利用/覆被与水体之间距离对水质的影响,量化了水土相互作用的范围和程度。本研究从贡湖湾和缓冲区两种尺度分析了贡湖湾土地利用/覆被变化与水质的相关性。

1.3 土地利用信息提取

基于ENVI和ArcGIS平台对TM影像数据进行处理,包括影像校正、配准、镶嵌、裁剪和分类。根据研究目的和影像的空间分辨率,本研究采用中科院一级土地分类体系,将研究区分为农业用地、建设用地、林地、草地、水域和未利用地6个一级类别。通过监督分类得到贡湖湾土地利用/覆被分布示意图(图2),并结合Google earth地表真实图像进行目视判读,对分类结果进行评价和修正。

1.4 精度评价

精度评价是影像分类中必不可少的部分,常用的精度评价方法有误差矩阵法(混淆矩阵)和ROC曲线法^[19]。误差矩阵的总体分类精度(Overall Accuracy)只考虑了对角线上正确分类的像元数量,变更像元类别时会导致精度结果发生变化。Kappa系数检验法不仅考虑了矩阵对角线上正确分类的像元数量,还对非对角线上各种错分、漏分的像元数量作了统计。本研究选用

Kappa 系数评价分类结果。

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}} \quad (1)$$

式中: n 为混淆矩阵总列数(即总类别数); X_{ii} 为混淆矩阵中第 i 行、第 i 列像元数量(即正确分类的数目); X_{i+} 为第 i 行像元数量(分类后第 i 类的数目); X_{+i} 为第 i 列像元数量(实际观测第 i 类的数目); N 为像元总数。

2 结果与分析

2.1 土地利用/覆被分类结果与分析

2014 年贡湖湾土地利用/覆被分布状况见图 2。

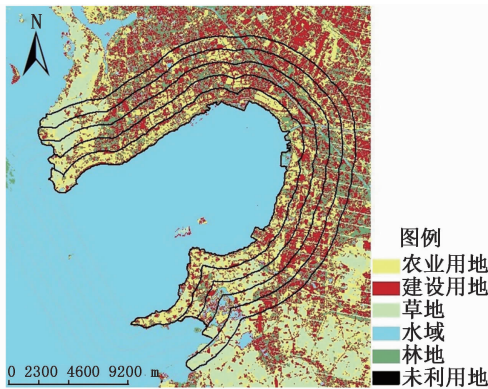


图 2 贡湖湾土地利用/覆被分布示意图
Fig.2 Space distribution of land use/cover types in Gonghu Bay

本研究以贡湖湾为中心,选取缓冲半径 1、2、3、4、5 km,基于 ArcGIS 平台,对各缓冲区与贡湖湾土地利用数据进行叠加运算,分析统计了各缓冲区土地利用/覆被的面积比例(图 3)。

贡湖湾土地利用/覆被主要以建设用地为主,面积占比为 40.83%;其次是农业用地和林地,分别为 31.99% 和 15.36%;其他类型面积占比较小。在 0~1 km 缓冲区,农业用地面积占比最大,为 41.59%;随着缓冲半径增加,农业用地面积占比减少,建设用地和林地增大;4~5 km 缓冲区,建设用地面积占比最大,为 48.57%;2~3 km 缓冲带,林业面积占比最大,为 23.55%,其他类型变化不明显。

2.2 精度评价

本研究的 TM 影像分类结果精度评价,采取计算机随机采样的方式,结合目视判读获取地表真实感兴趣区,评价结果见表 1。Kappa 系数为 0.7892 > 0.75,表明分类结果与地表真实情况高度一致,解译精度符合研究要求。

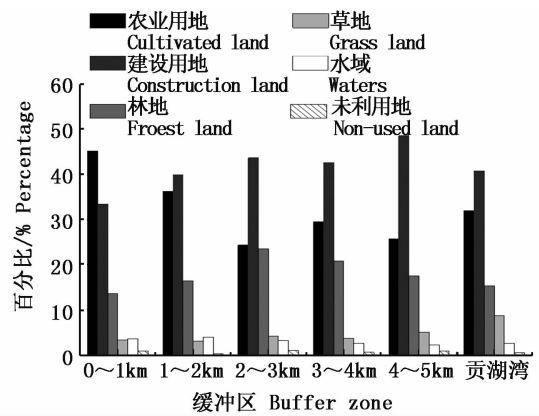


图 3 各缓冲区土地利用/覆被的面积比例
Fig.3 Area ratio of land use/cover types in different buffer zones

表 1 分类精度评价结果

Tab.1 The assessment of classification accuracy

土地利用类型 Land use type	农业用地 Cultivated land	草地 Grass land	水域 Waters	林地 Forest land	建设用地 Construction land	未利用地 Non-used land
制图精度/% Producer's accuracy	88.83%	78.09%	89.62%	63.25%	80.24%	75.95%
用户精度/% User's accuracy	87.14%	72.63%	85.66%	95.67%	81.45%	86.48%
错分误差/% Misclassification deviation	1.2%	2.3%	0.9%	2.9%	1.6%	0.5%
漏分误差/% Missing deviation	0.6%	0.8%	0.3%	1.0%	0.6%	0

总体分类精度(Overall Accuracy) = 86.67%
Kappa 系数(Kappa Coefficient) = 0.7892

2.3 水质监测数据分析

本研究对 2014 年贡湖湾各缓冲区土地利用/

覆被类型及影响水质的关键指标进行了检验。用 Origin 数据软件制作图表(图 4)。

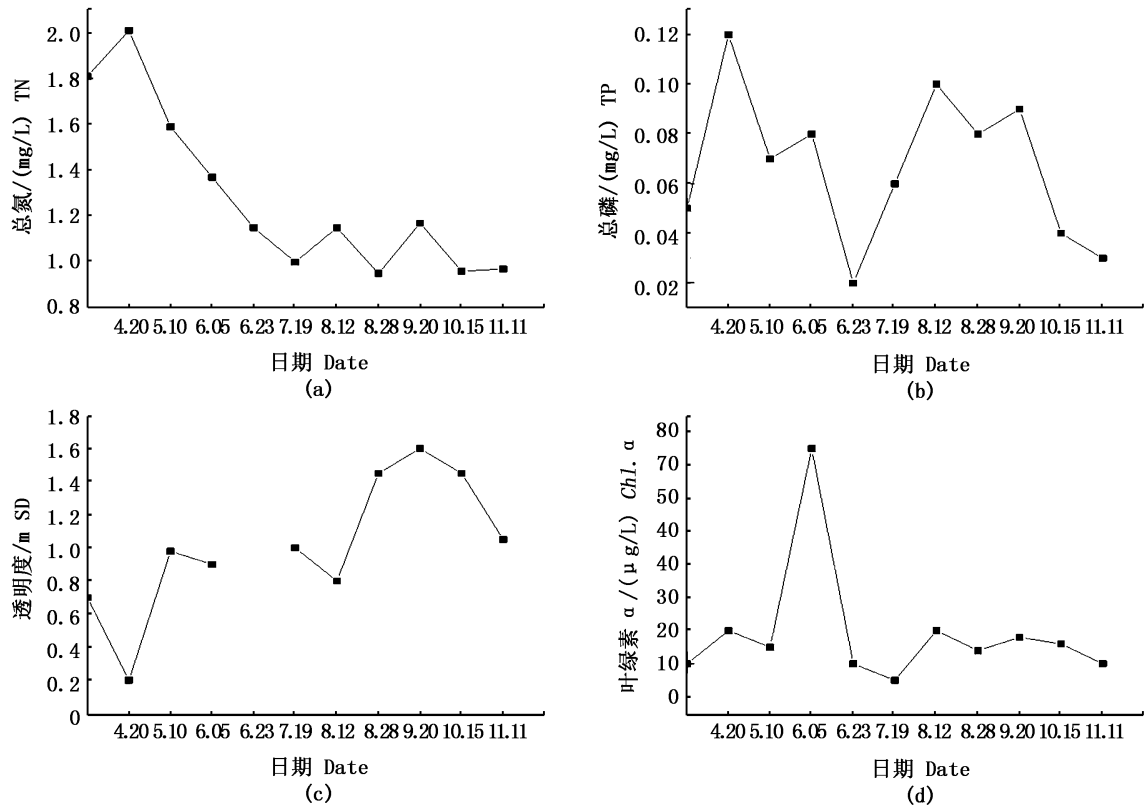


图 4 2014 年贡湖湾水质指标变化示意图

Fig. 4 Water quality monitoring indicators trend in Gonghu Bay in 2014

2.4 土地利用/覆被变化和水质的相关性分析

基于 SPSS 对土地利用/覆被变化和水质的相关性进行 Spearman 分析^[20](表 2)。各缓冲区的水域与贡湖相通,因此不进行水域面积占比与水质的相关性分析。

3 讨论

3.1 土地利用/覆被变化对水质的影响

3.1.1 农业用地对水质具有显著的负效应

农业用地对水质的影响较明显。总体上看,农业用地与总氮、总磷、叶绿素 a 呈正相关,与透明度呈负相关。在缓冲区,农业用地与总氮、总磷相关性随缓冲半径增大而增大,由普通正相关变为显著正相关。农业用地与总氮的相关系数在 4~5 km 缓冲区达到最大,为 0.675;与总磷的相关系数在 3~4 km 缓冲区达到最大,为 0.633。农业用地与透明度相关性随缓冲半径增大而减

小,相关系数在 1~2 km 缓冲区达到最大,为 0.600。农业用地与叶绿素 a 没有显著相关性。在贡湖湾尺度,农业用地与总氮呈高度正相关,相关系数达到 0.913;与总磷、叶绿素 a 呈显著正相关,相关系数分别为 0.782 和 0.518;与透明度相关性不明显。

本研究表明贡湖湾农业用地对水质的负面影响较大,且农业用地比重越大,影响越明显。这与蒋勇军等^[21]的研究结果相同:农药和化肥是面污染源的主要组成物质,农业用地是造成河流水质面源污染最主要的因素。研究显示^[22],我国氮肥利用率仅为 30%~35%,未利用的养分通过地表径流、淋溶、吸附等方式进入环境,造成水体污染。贡湖湾农业用地占总面积的 31.99%,仅次于建设用地,且多分布于 0~2 km 缓冲区,这导致农业用地的氮肥流失成为了贡湖湾水体面源污染的重要因素。

表2 贡湖湾各缓冲区土地利用/覆被变化和水质的相关性分析
 Tab.2 Correlation analysis between land use/cover change in different buffer zones and water quality monitoring indicators in Gonghu Bay

土地利用类型 Land use type	研究尺度 Research scale		总氮/(mg/L) TN	总磷/(mg/L) TP	透明度/m SD	叶绿素 a/($\mu\text{g/L}$) Chl. a
农业用地 Cultivated land	0~1 km 缓冲区	0~1 km buffer zone	0.283	0.382	-0.418	0.091
	1~2 km 缓冲区	1~2 km buffer zone	0.489	0.536	-0.600*	0.364
	2~3 km 缓冲区	2~3 km buffer zone	0.527	0.606*	-0.479	0.261
	3~4 km 缓冲区	3~4 km buffer zone	0.601*	0.633*	-0.333	0
	4~5 km 缓冲区	4~5 km buffer zone	0.675*	0.618*	-0.218	0.219
	贡湖湾	Gonghu Bay	0.913**	0.782**	-0.164	0.518*
建设用地 Construction land	0~1 km 缓冲区	0~1 km buffer zone	0.145	0.610*	-0.318	0.738**
	1~2 km 缓冲区	1~2 km buffer zone	0.200	0.664*	-0.282	0.641*
	2~3 km 缓冲区	2~3 km buffer zone	-0.055	0.721*	-0.394	0.479
	3~4 km 缓冲区	3~4 km buffer zone	0.286	0.643*	-0.643*	0.414
	4~5 km 缓冲区	4~5 km buffer zone	0.442	0.881**	-0.771**	0.221
	贡湖湾	Gonghu Bay	0.718**	0.836**	-0.673*	0.881**
林地 Forest land	0~1 km 缓冲区	0~1 km buffer zone	-0.714*	-0.618*	0.861**	-0.643*
	1~2 km 缓冲区	1~2 km buffer zone	-0.597*	-0.442	0.633*	-0.959**
	2~3 km 缓冲区	2~3 km buffer zone	-0.200	-0.105	0.413	-0.673*
	3~4 km 缓冲区	3~4 km buffer zone	-0.315	-0.303	0.613*	-0.413
	4~5 km 缓冲区	4~5 km buffer zone	-0.217	-0.255	0.406	-0.394
	贡湖湾	Gonghu Bay	-0.822**	-0.562*	0.551*	-0.673*
草地 Grass land	0~1 km 缓冲区	0~1 km buffer zone	-0.620*	-0.190	0.586	-0.237
	1~2 km 缓冲区	1~2 km buffer zone	-0.621*	-0.330	0.530	-0.078
	2~3 km 缓冲区	2~3 km buffer zone	-0.078	-0.336	0.547	-0.152
	3~4 km 缓冲区	3~4 km buffer zone	-0.479	-0.190	0.515	-0.503
	4~5 km 缓冲区	4~5 km buffer zone	-0.260	-0.097	0.550	-0.228
	贡湖湾	Gonghu Bay	-0.333	-0.482	0.531	-0.369
未利用地 Non-used land	0~1 km 缓冲区	0~1 km buffer zone	0.331	0.021	0.220	0.193
	1~2 km 缓冲区	1~2 km buffer zone	0.442	0	0.191	0.236
	2~3 km 缓冲区	2~3 km buffer zone	0.274	0.320	0.050	0.048
	3~4 km 缓冲区	3~4 km buffer zone	0.255	0.196	0.048	0.192
	4~5 km 缓冲区	4~5 km buffer zone	0.198	0.037	0.085	0.059
	贡湖湾	Gonghu Bay	0.317	0.100	0.057	0.186

注:*表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$

Note: * indicate $P < 0.05$, ** indicate $P < 0.01$

3.1.2 建设用地对水质具有显著的负效应

贡湖湾建设用地与总氮、总磷、叶绿素 a 呈正相关,与透明度呈负相关。在缓冲区尺度,建设用地与总氮、总磷、透明度的相关性随缓冲半径增大而增大。建设用地与总氮没有显著相关性;与总磷由显著正相关变为高度正相关,相关系数在 4~5 km 缓冲区达到最大,为 0.881;与透明度在 3~4 km 缓冲区为显著正相关,相关系数为 0.643,在 4~5 km 缓冲区为高度正相关,相关系数达到最大,为 0.771。建设用地与叶绿素 a 的相关性随缓冲半径增大而减小,由高度正相关变为普通正相关,相关系数在 0~1 km 缓冲区达到最大,为 0.738。在贡湖湾尺度,建设用地与总

氮、总磷、叶绿素 a 呈高度正相关,相关系数分别为 0.718、0.836 和 0.881;与透明度呈显著负相关,相关系数为 0.673。

本研究表明贡湖湾建设用地对湖泊水质起显著的负面影响。吴晶晶和蔡永立^[23],孙恩呈等^[24]的研究表明:在非点源污染中,城市化带来的不透水地表径流是仅次于农业污染源的第二大非点源污染源。这主要由于建设用地上承载着高密度人口和社会经济活动,污染物排放强度高,各种生活污水、工业废水和生活垃圾等污染物随径流的冲刷进入水体,导致有机物和营养盐浓度含量增加,水质下降。贡湖湾建设用地的面积最大,占总面积的 40.83%,近几年贡湖湾社会

经济发展迅速,城市化的快速扩张导致贡湖湾透水性地表减少,对水质造成负面影响。

3.1.3 林地对水质具有显著的正效应

贡湖湾林地与总氮、总磷、叶绿素 a 呈负相关,与透明度呈正相关。在缓冲区尺度,林地与总氮、总磷、叶绿素 a 的相关性随缓冲半径增大而减小,由显著正相关变为普通正相关。林地与总氮、总磷的相关系数在 0~1 km 缓冲区达到最大,分别为 0.714 和 0.618;与叶绿素 a 的相关性在 1~2 km 缓冲区为高度正相关,相关系数最大,为 0.959。林地与透明度的相关性随缓冲半径增大而减小,由高度正相关变为普通正相关,相关系数在 0~1 km 缓冲区达到最大,为 0.861。在贡湖湾尺度,林地与总氮呈高度负相关,相关系数为 0.822;与总磷、叶绿素 a 呈显著负相关,相关系数分别为 0.562 和 0.673;与透明度呈显著正相关,相关系数为 0.551。

本研究表明贡湖湾林地对水质的改善起正面影响,且这种影响存在尺度效应,即林地在近域地带对湖泊水质的积极影响比远离湖泊地带更为显著。研究表明^[25-26],植物根部对污染物地表径流的截留作用使得水体周边的林地能够有效减少带入水体的营养盐,缓解水体污染,对湖泊的水环境起正作用。贡湖湾林地的面积仅次于建设用地和农业用地,占总面积的 15.36%,多分布于 2~4 km 缓冲区。贡湖湾社会经济发展迅速,地表植被遭到严重破坏,对污染物的截留作用减小,导致河流沉积物增加,造成贡湖湾水体面源污染。《太湖流域管理条例》规定:太湖岸线内和岸线周边 1 km 范围内属于生产生活的优先管控区,严格对化工生产,废物回收场和养殖场等建设项目进行管控。结合本研究结果和贡湖湾发展趋势,建议在贡湖湾沿岸 0~2 km 内开展植树造林,退耕还林工作,严格控源截污,改善湖泊水质,保障饮用水安全。

3.1.4 草地和未利用地对水质的影响不明显

贡湖湾草地与总氮、总磷、叶绿素 a 呈负相关,与透明度呈正相关,这表明草地有利于改善湖泊水质。在缓冲区尺度和贡湖湾尺度,草地在 0~2 km 缓冲区与总氮呈显著正相关,其他缓冲区均未表现显著相关性。这可能是由于草地的面积较小,且多分布在 4~5 km 缓冲区。未利用地与水体污染物浓度没有显著相关性。

3.2 土地利用/覆被变化与水质的多元回归分析

由表 2 的相关性分析可知,农业用地、建设用地、林地与贡湖湾水体具有显著的相关性。农业用地、建设用地与水体污染物浓度呈显著正相关,林地与污染物浓度呈显著负相关。本研究将这 3 种地类的面积占比作为自变量,水质监测指标作为因变量,建立贡湖湾土地利用/覆被变化与水质的多元回归模型(表 3)。

在回归方程中,自变量农业用地和建设用地的回归系数均为正值,林地的回归系数为负值,这符合“源-汇”理论^[27]。农业用地和建设用地作为污染物的迁出源,起到了“源”的作用,林地作为接纳迁移污染物的聚集场所,起到了“汇”的作用。

表 3 贡湖湾土地利用/覆被变化与水质的多元回归模型
Tab.3 Multiple regression model between Gonghu Bay land use/cover structure and water quality

回归分析 Regression analysis	R^2	P
TN = -0.266 + 0.817 农业用地 + 1.293 建设用地 - 2.878 林地	0.741	0.023
TP = -0.164 + 0.858 农业用地 + 1.411 建设用地 - 0.264 林地	0.823	0.009
Chl. a = -2.782 + 0.929 农业用地 + 2.406 建设用地 - 4.851 林地	0.818	0.012

参考文献:

- [1] 梅艳. 区域土地利用变化及其对生态安全的影响研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
MEI Y. Study on regional land use change and its influence on ecological security [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [2] 鲍全盛, 毛显强, 王华东. 我国水环境非点源污染研究与展望 [J]. 上海环境科学, 1996, 15(5): 11-16.
BAO Q S, MAO X Q, WANG H D. Prospect and progress of water environmental non-point pollution source study in China [J]. Shanghai Environmental Science, 1996, 15(5): 11-16.
- [3] 刘瑞民, 杨志峰, 丁晓雯, 等. 土地利用/覆盖变化对长江上游非点源污染影响研究 [J]. 环境科学, 2006, 27(12): 2407-2414.
LIU R M, YANG Z F, DING X W, et al. Effect of land use/cover change on pollution load of non-point source in upper reach of Yangtze River Basin [J]. Environmental Science, 2006, 27(12): 2407-2414.
- [4] 胥彦玲. 基于土地利用/覆被变化的陕西黑河流域非点源污染研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2007.

- XU Y L. Non-point Source Pollution research based on landuse/coverage changes in Shaanxi Heihe River Watershed [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007.
- [5] 梅立永, 赵智杰, 黄钱, 等. 小流域非点源污染模拟与仿真研究—以 HSPF 模型在西丽水库流域应用为例[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 64-70.
- MEI L Y, ZHAO Z J, HUANG Q, et al. Non-point sources pollution modeling in watershed scale: case study of Xili reservoir (Shenzhen) with HSPF [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(1): 64-70.
- [6] CORWIN D L, VAUGHAN P J. Modeling nonpoint source pollutants in the vadose zone with GIS [J]. Environmental Science & Technology, 1997, 31(8): 2157-2175.
- [7] LI S Y, GU S, LIU W Z, et al. Water quality in relation to land use and land cover in the upper Han River Basin China [J]. Catena, 2008, 75(2): 216-222.
- [8] SMART R P, SOULSBY C, NEAL C, et al. Factors regulating the spatial and temporal distribution of solute concentrations in a major river system in NE Scotland [J]. Science of the Total Environment, 1998, 221(2/3): 93-110.
- [9] 孙金华, 曹晓峰, 黄艺. 滇池流域土地利用对入湖河流水质的影响[J]. 中国环境科学, 2011, 31(12): 2052-2057.
- SUN J H, CAO X F, HUANG Y. Effect of land use on inflow rivers water quality in lake Dianchi watershed [J]. China Environmental Science, 2011, 31(12): 2052-2057.
- [10] LI S Y, ZHANG Q F. Geochemistry of the upper Han River basin, China, 1: spatial distribution of major ion compositions and their controlling factors [J]. Applied Geochemistry, 2008, 23(12): 3535-3544.
- [11] 曹芳芳, 李雪, 王东, 等. 新安江流域土地利用结构对水质的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(7): 2582-2587.
- CAO F F, LI X, WANG D, et al. Effects of land use structure on water quality in Xin'anjiang River [J]. Environmental Science, 2013, 34(7): 2582-2587.
- [12] NASH M S, HEGGEM D T, EBERT D, et al. Multi-scale landscape factors influencing stream water quality in the state of Oregon [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 156(1/4): 343-360.
- [13] 官宝红, 李君, 曾爱斌, 等. 杭州市城市土地利用对河流水质的影响[J]. 资源科学, 2008, 30(6): 857-863.
- GUAN B H, LI J, ZENG A B, et al. Impacts of urban land use on water quality in Hangzhou [J]. Resources Science, 2008, 30(6): 857-863.
- [14] 张殷俊, 陈爽, 相景昌. 河流近域土地利用格局与水质相关性分析—以巢湖流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(9): 1054-1061.
- ZHANG Y J, CHEN S, XIANG J C. Correlation between the water quality and land use composition in the river side area—a case of Chaohu Lake Basin in China [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(9): 1054-1061.
- [15] SLIVA L, WILLIAMS D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality [J]. Water Research, 2001, 35(14): 3462-3472.
- [16] JOHNSON L B, RICHARDS C, HOST G, et al. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems [J]. Freshwater Biology, 1997, 37(1): 193-208.
- [17] 王晓平. 太湖流域水资源保护局房玲娣建议: 把保障供水水源地安全作为太湖流域水利工作的首要任务[J]. 中国水利, 2005(5): 20.
- WANG X P. Recommendation from water resources protection bureau of Taihu Lake Basin: protecting the source of water supply security is a priority in Taihu Lake Basin water conservancy [J]. China Water Resources, 2005(5): 20.
- [18] 范成新, 季江, 张文华, 等. 贡湖水水质富营养化综合评价及初步预测[J]. 海洋湖沼通报, 1997(3): 18-24.
- FAN C X, JI J, ZHANG W H, et al. Comprehensive evaluation and preliminary prediction for water quality and eutrophication of Gonghu Bay [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1997(3): 18-24.
- [19] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- DENG S B. ENVI remote sensing image processing method [J]. Beijing: Science Press, 2010.
- [20] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- YU J Y, HE X H. Statistical analysis and application of SPSS [J]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2003.
- [21] 蒋勇军, 袁道先, 谢世友, 等. 典型岩溶农业区地下水水质与土地利用变化分析—以云南小江流域为例[J]. 地理学报, 2006, 61(5): 471-481.
- JIANG Y J, YUAN D X, XIE S Y, et al. The groundwater quality and land use change in a typical karst agricultural region: a case study of Xiaojiang watershed, Yunnan [J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(5): 471-481.
- [22] 李恒鹏, 刘晓枚, 黄文钰. 太湖流域浙西区不同土地类型的面源污染产出[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 401-408.
- LI H P, LIU X M, HUANG W Y. The non-point output of different landuse types in Zhexi Hydraulic region of Taihu Basin [J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(3): 401-408.
- [23] 吴晶晶, 蔡永立. 快速城市化地区土地利用变化及其对水质的影响—以上海市奉贤区为例[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(26): 16208-16211.
- WU J J, CAI Y L. Land use change and its impact on water quality in the rapidly urbanized Area [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(26): 16208-16211.
- [24] 孙恩呈, 周国明, 张慧. 国内外城市非点源污染研究进展 [J]. 天津化工, 2012, 26(1): 10-13.
- SUN E C, ZHOU G M, ZHANG H. Domestic and foreign urban non-point source pollution: Research progress [J].

- Tianjin Chemical Industry, 2012, 26(1): 10-13.
- [25] 王阳阳. 沉水植被恢复对贡湖水源保护区河流污染削减技术研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- WANG Y Y. Study on the pollution reduction efficiency of submerged vegetation restoration in Gonghu Lake [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011.
- [26] 徐新洲, 薛建辉, 吕志刚, 等. 太湖贡湖湾湖滨湿地生态功能区与植被修复研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2013, 37(3): 35-40.
- XU X Z, XUE J H, LÜ Z G, et al. A research of ecological function area and vegetation restoration at Taihu Gonghu bay wetland[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2013, 37(3): 35-40.
- [27] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1444-1449.
- CHEN L D, FU B J, ZHAO W W. Source-sink landscape theory and its ecological significance [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1444-1449.

Impacts of land use/cover on the water quality of Gonghu Bay in Taihu Lake

LI Boyan¹, ZHANG Yinjiang^{1,2}, PENG Qunzhou¹, SONG Yingying¹, ZHANG Yuting¹, FANG Shubo¹

(1. Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Engineering Research Center for Water Environment Ecology in Shanghai, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The quantitative impact of land use/cover (LULC) on the receiving water quality is one of research highlights of lake ecology. By using Landsat Thematic Mapper (TM) images and water quality indices (TN, TP, *Chl. a*, Secchi depth) of four seasons, this paper analyzed the relationship between land use/cover and water quality of Gonghu Bay based on five different buffer zones and the whole bay scale. Results showed that the land use pattern in Gonghu Bay had a significant impact on surface water quality. Construction land and cultivated land had a significant positive effect on water quality in Gonghu Bay, while forest land exhibited significant negative effect on water quality; grass land and non-used land had not significant effect. There was a scale effect between land use pattern and water quality indices in Gonghu Bay. The land use/cover type near to Gonghu Bay had more significant influence on water quality than that away from Gonghu Bay. Studies have shown that the forest land in Gonghu Bay had a strong effect on reducing water and sand, positively improving the receiving water quality. Developing afforestation, returning farmland to forest, and implementing wetland restoration project along the littoral zones within 0-2 km of Gonghu Bay will positively prevent soil erosion and protect the ecological environment.

Key words: Gonghu Bay; land use/cover; buffer zone; water quality; correlation analysis; ecological restoration