

# 太湖流域重污染区土地利用变化对生态系统服务价值的影响

李 冰<sup>1,2</sup>, 毕 军<sup>1</sup>, 田 颖<sup>2</sup>

(1. 南京大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 环境学院环境管理与政策研究中心, 江苏 南京 210093; 2. 江苏省环境科学研究院, 江苏 南京 210036)

**摘要:**通过对太湖流域重污染区1999年、2007年遥感影像数据解译结果的分析, 获取了太湖流域重污染区主要土地利用类型的信息, 分析了8 a来研究区内土地利用与覆被变化趋势, 对区域土地利用类型的生态系统服务价值进行评估。结果表明, 1999~2007年, 太湖流域重污染区内耕地面积从2 033.53 km<sup>2</sup>减少到1 401.04 km<sup>2</sup>, 而林地、建设用地、园地、水域总体呈增加的趋势, 其中减少的耕地主要转化为建设用地。1999~2007年太湖流域重污染区的生态系统服务价值呈减少趋势, 土地利用变化使研究区生态资产减少了2.40亿元, 除气体调节和原材料以外, 各单项服务功能的价值量均呈现递减的趋势。

**关键词:** 土地利用; 太湖流域重污染区; 遥感; 生态系统服务价值

**中图分类号:** F301      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1006-0690(2012)04-0471-06

土地利用与生态系统服务关系密切, 相关研究把LUCC驱动下的生态系统服务价值(ecosystem service values, ESV)变化, 作为LUCC环境效应的一个重要量化指标<sup>[1-3]</sup>。生态系统服务是指自然生态系统及其物种所提供的能够满足和维持人类生活需要的条件和过程。欧阳志云、王如松等对生态系统服务功能的概念作了如下的概括: 生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的赖以生存的自然环境条件与效用<sup>[4-7]</sup>。土地利用/土地覆被变化通过改变生态系统的结构和功能, 对生态系统维持其服务功能起决定性作用。通过计算特定研究区域的生态系统服务价值, 可定量分析生态环境质量对LUCC演变的响应, 进而对土地资源的可持续利用提出有益建议。本研究利用生态系统服务价值评估方法<sup>[8-14]</sup>, 研究太湖流域地区土地利用/土地覆被变化的环境效应。

太湖流域位于长江三角洲的核心区域。流域总面积2.97×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>, 是中国经济最发达的地区之一。近年来随着经济的快速发展和人口的急剧增

长, 排入水体的污染物大幅度增加, 太湖流域西北部入湖河流及西北部湖区水质较差, 污染较为严重, 主要是太湖竺山湾和梅梁湾的上游汇水区域, 为太湖的重污染区域, 涉及到江苏省境内的区域有无锡市的6个区、1个市和常州市的5个区。梅梁湾、竺山湾水质是太湖水质恶化和生态退化最快的湖区之一, 蓝藻水华发生的频次和水华覆盖的面积逐年增加, 并逐步由梅梁湾、竺山湾等西部湖区向湖心区和大太湖扩展。土地利用/覆盖变化是流域水生态系统安全的重要影响因素, 流域内部各种土地利用/覆盖类型的比例的变化是造成流域水质发生变化甚至导致水质污染的主要原因<sup>[14]</sup>, 因此研究太湖流域土地利用变化对生态系统服务价值的影响, 对太湖流域水环境的改善有重要意义。本文旨在研究1999~2007年太湖流域重污染区的土地利用/覆被的变化趋势, 并对研究区LUCC的驱动因子进行探讨, 以期对区域土地资源规划和管理提供重要的科学依据, 促进区域生态、经济和社会的协调发展。

**收稿日期:** 2011-09-10 **修订日期:** 2012-02-16

**基金项目:** 国家水体污染控制与治理科技重大专项课题(2008ZX07101-02-03)和江苏省自然科学基金项目(BK2009454)资助。

**作者简介:** 李 冰(1968-), 女, 江苏兴化人, 研究员, 主要从事环境规划与管理研究。E-mail: lb950618@126.com

**通讯作者:** 毕 军, 教授。E-mail: jbi@nju.edu.cn

# 1 区域概况

本文研究区主要是太湖竺山湾和梅梁湾的上游汇水区域,由于梅梁湾、竺山湾由于形似口袋,面向北偏西,在特定的水动力作用下,污染物易进不易出,因此,梅梁湾、竺山湾水质是太湖水质恶化和生态退化最快的湖区之一。本文研究包括无锡市的南长区、崇安区、北塘区、惠山区、滨湖区、无锡新区等6个区、宜兴市以及常州市的钟楼区、天宁区、戚墅堰区、新北区和武进区等5区,共42个镇,52条街道,研究区位置图见图1。

研究区域总面积5 271.56 km<sup>2</sup>,占太湖流域的17.73%;2007年总人口744.14万人,约占太湖流域人口的20.62%;人口密度达到1 412人/km<sup>2</sup>,为太湖流域人口密度的1.16倍,高于全国平均人口密度134人/km<sup>2</sup>的10倍多;人均GDP为46 187元,是全国平均水平的2.7倍;GDP总量为3 436.93亿元,占太湖流域GDP的20.00%,是太湖流域经济较为发达的区域<sup>[15, 16]</sup>。其中常州武进区、宜兴市、无锡滨湖区的GDP总量分列前三位。

# 2 研究方法

## 2.1 LUCC动态数据获取方法

在本研究中,采用了3个时段的影像数据,1997年的TM数据(参考使用),1999年的SPOT1数据,2007年的ALOS数据。解译过程中的参考数据有:① 1997年地区国土资源局公布的部分土地利用现状数据。② 无锡市1999年土地利用现状分类情况统计,来自《无锡统计年鉴2000》<sup>[17]</sup>。

③ 常州市1999年分区土地利用现状分类情况统计,来自《常州统计年鉴2000》<sup>[18]</sup>。④ 2007年农业调查的土地利用数据。其中统计数据主要用来对遥感解译的土地利用数据进行核实和校正,最终形成更为可靠的土地利用数据。

在土地覆被信息获取方面,采用了3S集成技术,首先在Erdas环境下,采用三次多项式及最近邻域插值法对各期遥感影像进行几何纠正。其中ALOS图像使用1:1万地形图数据进行几何纠正,SPOT1使用1:5万的地形图数据纠正后,以全色的ALOS为基准做相对纠正,以保证不同时段图像的空间可匹配性。其次,运用GPS,到研究区进行实地考察,并建立遥感解译标志。再次,以ArcGIS9.2为支撑,对不同时期的遥感影像进行解译,并对解译结果进行编辑处理和面积统计,获得1999年和2007年的土地利用数据。

## 2.2 土地利用空间转化类型与强度计算

在ArcGIS平台下,运用地图代数的方法,提取研究区1999~2007年的土地覆被转移矩阵,具体原理是,将k时期的土地利用图中的像元值乘以一个整数减去k+1时期中的对应像元值,即可得到同一像元在两个时期之间的土地利用变化情况。一般来说,当地类数少于10时,乘以10即可以区分所有不同地类之间的转移情况,本研究中土地利用/覆被类型为8类,因此公式如下:

$$C_{ij} = M_{ij}^k \times 10 - M_{ij}^{k+1} \quad (1)$$

式(1)中,C<sub>ij</sub>为k时期到k+1时期的土地利用变化图中第i行j列新像元的值;M<sub>ij</sub><sup>k</sup>为k时期的土地覆被图中第i行j列的像元值;M<sub>ij</sub><sup>k+1</sup>为k+1时期的土

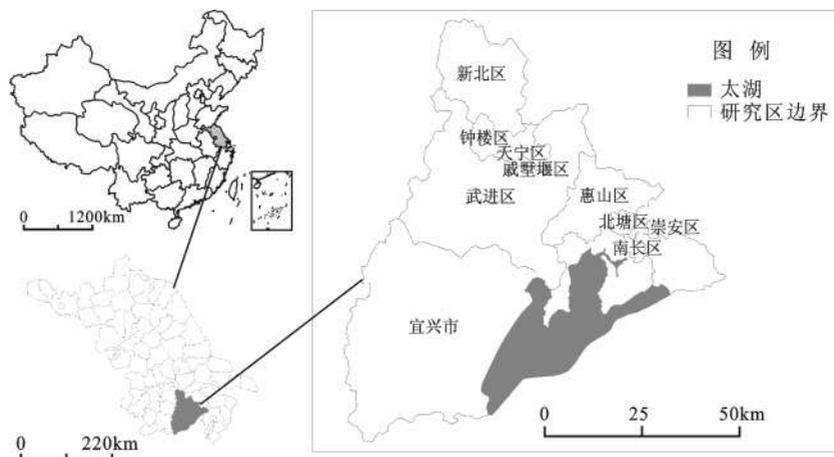


图1 研究区地理位置

Fig.1 Location of the study area

地覆被图第*i*行*j*列的像元值。

### 2.3 生态系统服务价值计算

本研究根据谢高地等人的研究成果<sup>[19]</sup>,考虑到根据研究区的具体情况,运用 Costanza 的生态系统服务价值公式<sup>[1]</sup>,计算了太湖流域重污染区生态系统服务功能价值。其公式为:

$$ESV = \sum A_k \times VC_k \quad ESV_f = \sum (A_k \times VC_{fk}) \quad (2)$$

式(2)中,*ESV*是生态系统服务价值,*A<sub>k</sub>*是研究区第*k*种土地利用类型的面积,*VC<sub>k</sub>*是生态系统价值系数,*ESV<sub>f</sub>*是生态系统第*f*项服务功能价值,*VC<sub>fk</sub>*是研究区第*k*种土地利用类型的第*f*项服务功能价值系数。

## 3 结果与分析

### 3.1 研究区土地利用结构变化

分别利用1999年和2007年的遥感影像,以及统计资料,将区域土地利用/覆被分类划分为水田、旱地、林地、果园、茶园、水域、建设用地和其他用地8类,得到研究区1999年和2007年的土地利用情况,详见表1。在ArcGIS平台下,运用地图代数的方法,提取研究区1999~2007年土地覆被转移矩阵,见表2。

表1 研究区不同年份土地利用/覆被结构

Table 1 Land cover structure in different years in study area

	1999年		2007年	
	面积(km <sup>2</sup> )	百分比(%)	面积(km <sup>2</sup> )	百分比(%)
水田	1365.28	26.74	1124.10	22.00
旱地	668.25	13.09	276.94	5.42
林地	453.84	8.89	497.52	9.74
果园	88.99	1.74	105.04	2.06
茶园	82.17	1.61	60.11	1.18
水域	1276.08	25.00	1294.83	25.34
建设用地	1047.86	20.52	1700.86	33.29
其它用地	122.86	2.41	50.00	0.98

根据解译结果,1999年,太湖流域重污染区的优势地类为耕地(水田和旱地)、水域和建设用地,三者合占85.35%,其中水田和旱地占39.83%,耕地是太湖流域重污染区最主要的土地利用/覆被类型。到2007年,尽管不同的土地利用/覆被类型之间发生了较频繁的转移,但耕地、水域和建设用地占优势的格局并未发生改变。8年间,发生增加的地类有林地、水域和建设用地,其中建设用地增加较为迅速,减幅最大的为耕地。

耕地总量减少,而水田与旱地相互转化。减

少的耕地大部分转化为建设用地(表2)。水田面积减少,年减少速率为-2.21%。减少的水田主要转化为旱地和建设用地。与此同时,研究区内也存在其他地类转化为水田的情况,期间约有48.71%的水田由其他地类转换而来,其中以旱地为主,其次为建设用地。旱地面积也有所减少,主要是转为水田和建设用地。与此同时,研究区内也存在其他地类转化为旱地的情况,其中以水田为主,其次为建设用地。

1999~2007年,林地总量增加,增幅为9.62%,林地占重污染区的面积比重也呈现增加的趋势。增加的林地由其他地类转换而来,以旱地为主,其次为建设用地。与此同时,研究区内,约有28.5%的林地转化为其他地类,以建设用地和水田为主。

研究区内的建设用地总体呈增加的趋势,建设用地增加的速度明显快于其他地类,增幅为62.32%,年增加速率为7.79%,约有56.52%的建设用地由其他地类转换而来,以水田为主,其次为水域。与此同时,研究区内,约有29.43%的建设用地转化为其他地类,其中以水田为主,其次为旱地。

1999~2007年,果园总量呈增加趋势,果园占研究区面积比重也从1.74%增加到2.06%。约有97.28%的果园由其他地类转换而来,其中以建设用地为主。与此同时,研究区内,约有96.79%的果园转化为其他地类。其中以水田和旱地为主。研究区内的茶园总量减少,约有84.98%的茶园转化为其他地类,其中以旱地为主,其次为水田。与此同时,研究区内,约有79.47%的茶园由其他地类转换而来,其中以林地为主,其次为建设用地。

研究区内的水域总体呈增加的趋势,约有15.05%的水域由其他地类转换而来,其中以建设用地为主,其次为水田。与此同时,研究区内,约有16.19%的水域为其他地类,其中以水田为主,其次为建设用地。

研究区内的其他用地总量减少,约有97.31%的其他用地转化为其他地类,其中以建设用地为主,其次为水田。与此同时,研究区内,约有93.4%的其他用地由其他地类转换而来,其中以水田、建设用地和旱地为主。

### 3.2 土地利用变化引起的生态系统服务价值变化

太湖流域重污染区各类生态系统服务价值及其变化如表3所示。根据生态系统服务价值变化的计算方法以及研究区的现状将研究区内土地利

表2 土地利用变化面积转移矩阵 (km<sup>2</sup>)Table 2 Land use change transfer matrix (km<sup>2</sup>)

土地利用类型	2007年								
	茶园	果园	旱地	建设用地	林地	其他用地	水田	水域	总计
1999年 茶园	12.34	1.73	15.18	7.12	12.3	3.22	7.21	0.95	60.05
转出率(%)	15.02	1.94	2.27	0.68	2.71	2.62	0.53	0.07	
转入率(%)	20.53	2.88	25.25	11.84	20.46	5.36	11.99	1.68	100.00
果园	3.75	2.86	26.03	10.97	18.18	6.00	33.78	3.36	104.93
转出率(%)	4.56	3.21	3.90	1.05	4.01	4.88	2.47	0.26	
转入率(%)	3.57	2.72	24.78	10.44	17.31	5.71	32.16	3.30	100.00
旱地	3.49	9.82	61.89	39.62	9.03	7.44	134.91	10.48	276.68
转出率(%)	4.25	11.03	9.26	3.78	1.99	6.06	9.88	0.82	
转入率(%)	1.26	3.55	22.35	14.31	3.26	2.69	48.71	3.88	100.00
建设用地	17.9	30.00	219.98	739.49	44.67	39.9	506.24	103.1	1701.28
转出率(%)	21.78	33.71	32.92	70.57	9.84	32.48	37.08	8.08	
转入率(%)	1.05	1.76	12.93	43.48	2.63	2.35	29.76	6.04	100.00
林地	32.25	4.48	74.15	24.47	324.51	14.61	15.11	7.50	497.08
转出率(%)	39.25	5.03	11.10	2.34	71.50	11.89	1.11	0.59	
转入率(%)	6.48	0.90	14.90	4.92	65.23	2.94	3.04	1.60	100.00
其他用地	1.78	0.80	9.23	9.72	10.4	3.3	12.13	2.77	50.13
转出率(%)	2.17	0.90	1.38	0.93	2.29	2.69	0.89	0.22	
转入率(%)	3.56	1.60	18.46	19.44	20.80	6.60	24.26	5.28	100.00
水田	7.90	35.61	230.33	141.00	29.3	38.82	576.5	63.53	1122.99
转出率(%)	9.61	40.02	34.47	13.46	6.46	31.60	42.23	4.98	
转入率(%)	0.70	3.17	20.49	12.54	2.61	3.45	51.29	5.75	100.00
水域	2.75	3.68	31.37	75.42	7.29	10.14	78.97	1084.06	1293.68
转出率(%)	3.35	4.14	4.69	7.20	1.61	8.25	5.78	84.95	
转入率(%)	0.21	0.28	2.42	5.82	0.56	0.78	6.10	83.81	100.00
总计	82.16	88.98	668.16	1047.81	455.68	123.43	1364.85	1275.75	5106.82

表3 研究区生态系统总服务价值变化(1999~2007年)

Table 3 Changes of total ecosystem service values in the study area from 1999 to 2000

土地利用类型	单位面积生态价 值[元(hm <sup>2</sup> /a)]	1999年			2007年			生态价值变化 (10 <sup>8</sup> )元
		ESV	A(%)	V(%)	ESV	A(%)	V(%)	
林地	19334.00	12.08	39.83	15.80	12.81	27.42	17.29	0.73
耕地	6114.30	12.43	12.24	16.25	8.57	12.97	11.57	-3.86
水域	40676.40	51.91	25.00	67.88	52.67	25.34	71.11	0.76
其他用地	371.40	0.05	20.52	0.07	0.02	33.29	0.03	-0.03
合计		76.47			74.07			-2.40

注: 因建设用地的生态服务价值系数为0, 未在表中列出; ESV(10<sup>8</sup>元/a)—生态系统服务价值; A—面积比例; V—价值比例。

用类型进行合并, 其中林地包括原有的林地、茶园和果园, 耕地包括水田和旱地。

8 a来该区生态系统服务价值呈现减少的趋势, 从1999年的76.47亿元减少至2007年的74.07亿元。从各生态系统服务价值的比例构成来看, 耕地和水体的价值占总价值的80%以上, 可见耕地和

水体对本区域的生态安全有着非常重要的意义。耕地的生态价值逐年呈减少的趋势, 8 a来, 减少了3.86亿元, 而水体总体上呈现增加的趋势, 增加了0.76亿元。

从生态系统各单项服务功能的价值量看(表4), 太湖流域重污染区主要的服务功能为水源涵

表4 太湖流域重污染区1999~2007年生态系统服务功能的价值变化

Table 4 Values for single ecosystem service in the heavy polluted area in Taihu Lake Basin from 1999 to 2007

功能类型	1999年		2007年		价值量变化(10 <sup>8</sup> 元)
	价值量(10 <sup>8</sup> 元)	比例(%)	价值量(10 <sup>8</sup> 元)	比例(%)	
气体调节	2.84	3.72	2.95	3.97	0.11
气候调节	3.61	4.73	3.21	4.32	-0.40
水源涵养	25.86	33.87	25.96	34.95	-0.10
土壤形成与保护	4.80	6.29	4.10	5.52	-0.70
废物处理	24.20	31.70	23.63	31.82	-0.57
生物多样性保护	5.93	7.77	5.64	7.59	-0.29
食物生产	1.86	2.44	1.30	1.75	-0.56
原材料	1.62	2.12	1.75	2.36	0.13
娱乐文化	5.63	7.37	5.73	7.72	-0.10
合计	76.35		74.27		-2.08

养和废物处理,二者价值之和占总价值的一半以上,1999~2007年,除气体调节和原材料以外,各单项服务功能的价值量均呈现递减的趋势。

## 4 结 论

1) 本文根据太湖流域重污染区1999年和2007年两期的土地利用数据,分析了从1999~2007年太湖流域重污染区土地利用变化,8 a间太湖流域重污染区内耕地面积减少,而林地、建设用地、园地、水域总体呈增加的趋势,其中减少的耕地主要转化为建设用地,增加的林地主要由旱地和建设用地转化而来,减少的林地主要转化为建设用地和耕地,而增加的水域主要由建设用地和耕地为主。

2) 在谢高地和Costanza等提出的评价模型的基础上,估算了土地利用变化对太湖流域重污染区生态系统服务价值的影响,在生产资产中,耕地和水体面积的变化对整个区域生态系统服务价值的变化起决定性作用,太湖流域重污染区主要的服务功能为水源涵养和废物处理,二者价值之和占总价值的一半以上,因此在今后生态重建和管理中应注重对耕地和水域生态系统的保护。

虽然本文选择了适合中国国情的生态系统服务价值系数进行的估算,但由于该系数的大小与生态系统所处的地理位置以及研究区生态系统的特点密切相关,因此未能针对研究区的自身生态系统特点,制定适合该区特点的生态服务价值系数是本文的不足之处,对生态系统服务价值变化空间差异性的研究,将是进一步需要开展的工作。

## 参考文献:

- [1] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J].Nature,1997,387: 253-260.
- [2] 伍 星,沈珍瑶,刘瑞民,等.土地利用变化对长江上游生态系统服务价值的影响[J].农业工程学报,2009,25(8):236~241.
- [3] 刘少博,徐 立,王小凡,等.土地利用变化对长沙市生态系统服务价值的影响[J].湖南大学学报(自然科学版),2010,37(4): 72~76.
- [4] 吴大千,刘 建,贺同利等.基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析[J].农业工程学报,2009,25(8):256~261.
- [5] 倪九派,魏朝富,谢德林.土地利用的生态位及调控机制的研究[J].农业工程学报,2005,21(增刊):113~115.
- [6] 欧阳志云,王如松,赵景柱.生态系统服务功能及其生态经济价值评估[J].应用生态学报,1999,10(5):607~613.
- [7] 段瑞娟,郝晋珉,张洁瑕.北京区位土地利用与生态服务价值变化研究[J].农业工程学报,2006,22(9):21~28.
- [8] 周红艺,熊东红,杨 忠.元谋干热河谷土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].农业工程学报,2008,24(3):135~138.
- [9] 李 东.生态系统服务价值评估的研究综述[J].北京林业大学学报,2011,10(1):59~64.
- [10] 肖捷颖,葛京凤,沈彦俊,等.基于TM和ETM+遥感分析的石家庄市土地利用/土地覆被变化研究[J].地理科学,2005,25(4): 495~500.
- [11] 张 扬,刘艳芳,顾渐萍,等.武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J].地理科学,2011,31(10):1281~1285.
- [12] 秦 彦.生态系统服务价值评估预测模型的研究[J].中南林业科技大学学报,2010,30(11):60~64.
- [13] 张 飞,孔 伟.苏州市不同土地利用变化类型的生态环境效应分析[J].江苏农业科学,2011,(1):421~423.
- [14] 李晓兵.国际土地利用-土地覆盖变化的环境影响研究[J].地理科学进展,1999,14(4):395~399.
- [15] 无锡市统计局.无锡市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,

- 2007.
- [16] 常州市统计局.常州市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社, 2007.
- [17] 无锡市统计局.无锡市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社, 2000.
- [18] 常州市统计局.常州市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社, 2000.
- [19] 谢高地,鲁春霞,成升魁.全球生态系统服务价值评估研究进展[J].资源科学,2001,23(6):5~9.

## Effects of Land Use Change on Ecosystem Service Value in the Heavy Polluted Area in Taihu Lake Basin

LI Bing<sup>1,2</sup>, BI Jun<sup>1</sup>, TIAN Ying<sup>2</sup>

(1. *State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Center for Environmental Management and Policy, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China;*  
2. *Jiangsu Provincial Academy Of Environmental Science, Nanjing, Jiangsu 210036, China*)

**Abstract:** Change trends of land use/cover change (LUCC) in heavy polluted area of Taihu Lake Basin were analyzed based on remote sensing image from 1999 to 2007. Ecosystem service dynamic of these land use/cover was investigated. The results show that cultivated land area in study area decreased from 2 033.53km<sup>2</sup> in 1999 to 1 401.04 km<sup>2</sup> in 2007, while the area of forest land, construction land and water increased. Reducing cultivated land converted to construction land. Ecosystem service of heavy polluted area in Taihu Lake Basin decreased from 1999 to 2007 and the total ecosystem services value in study area decreased 2.4×10<sup>8</sup>yuan. Value of different ecosystem service item presented decreased trend excluding gas regulation and raw materials.

**Key words:** land use; heavy polluted area of Taihu Lake Basin; remote sensing; ecosystem services value