

# 云南省高原湖泊流域土地利用与水环境变化异质性研究

张洪, 陈震, 张帅, 黎海林

(云南财经大学 城市管理与资源环境学院, 云南 昆明 650221)

**摘要:** 以云南省 9 个高原湖泊为研究对象, 采用高原湖泊水质与湖泊流域土地利用类型变化的面积数据构建了各土地利用类型对高原湖泊水质影响的关系模型, 同时运用各高原湖泊流域土地利用强度与水质动态变化的时间序列数据构建了库兹涅兹曲线。研究结果表明, 耕地、园地、湿地面积与湖泊含磷量存在一定负相关关系, 林地、牧草地、建设用地面积与湖泊含磷量存在一定的正相关关系, 牧草地、耕地、园地、湿地面积与湖泊含氮量存在一定负相关关系, 建设用地面积与湖泊含氮量存在一定的正相关关系, 园地和耕地面积与污染综合指数存在负相关关系, 建设用地面积与污染综合指数存在负相关关系。滇池、泸沽湖处于流域协调区间, 阳宗海、抚仙湖、星云湖、程海处于流域冲突区间, 洱海、异龙湖处于冲突区间向协调区间转型过程之中。

**关键词:** 高原湖泊; 土地利用; 水环境污染; 面板数据; 库兹涅兹曲线

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0255-07

中图分类号: K928.4

## Heterogeneity of Land Use and Water Environment in Plateau Lake Basins of Yunnan Province

ZHANG Hong, CHEN Zhen, ZHANG Shuai, LI Hai-lin

(School of Urban Management and Resources Environment,

Yunnan University of Finance and Economics, Kunming, Yunnan 650221, China)

**Abstract:** The impacts of land use types on water quality of highland lakes were investigated and modeled based on the data collected from the nine plateau lakes in Yunnan Province. The Kuznets curve analysis was used to simulate the time series of the dynamic changes of land use intensity and water quality. The results indicate that the contents of phosphorus in the water samples from the lakes to some degree correlated negatively with the areas of cultivated land, gardens, and wetlands, and positively with the areas of woodlands, grasslands, and construction areas. In contrast, the contents of nitrogen in the water samples from the lakes correlated negatively with the areas of grasslands, cultivated lands, gardens, and wetlands, and positively with the areas of the construction lands. Overall, the pollution indices were negatively correlated with the areas of gardens and cultivated lands, and positively with the area of the construction lands. The temporal analysis indicated that the basins of Dianchi Lake and Lugu Lake were in a status of wellbeing, the basins of Yangzonghai, Fuxian, Xingyun, Cheng Lakes were in a status of crisis, and the basins of Erhai and Yilong Lakes were in a status of converting from crisis to wellbeing.

**Keywords:** plateau lakes; land use; water environmental change; panel data; Kuznets curve

湖泊流域土地利用状况与流域水体水质之间存在着较为显著的相关关系, 人类活动所造成的土地的异质性改变了湖泊水体的状况。湖泊流域土地利用方式影响到地表污染物的分布状况, 实际上, 湖泊的流域地面已成为重要污染来源。同时, 土地利用改变了自然水文过程, 暴雨径流冲刷地表携带大量固体废弃物, 污染物未经处理的排放, 直接造成的水体污染。

因此, 土地利用成为影响湖泊水环境的关键。

土地利用与流域水质存在一定的相关关系。在国外, 对该问题的研究最早见于本世纪初。Basnyat 等人<sup>[1]</sup>对美国阿拉巴马州的 Fish 河流域的研究结果表明, 不仅流域内的土地利用类型面积大小与河流水质存在相关性, 而且流域内的土地利用类型、面积比例也与河流水质存在相关性。Tong 等人<sup>[2]</sup>运用统计

学、GIS 和水文模型对俄亥俄州各流域进行土地利用类型与河流多种水质指标的相关研究,进一步证实两者之间存在相关性,且相关显著。Ren 等人<sup>[3]</sup>在对上海黄浦江流域进行的研究也表明,城市土地利用变化与黄浦江水质下降之间存在显著的正相关。在国内,该方面的研究起步较晚,研究成果也较少。郭青海等<sup>[4]</sup>对武汉汉阳地区 4 个湖泊进行分析,认为农村居民点、城市居民点、商业用地和滩地对水质影响相对较大。可见,伴随着土地利用类型的改变,相应地水质也会发生变化。

相对于土地利用类型与流域水质的研究,土地利用强度与流域水质的研究则稍多。其中,环境库兹涅兹曲线的研究文献最多。环境库兹涅兹曲线(environment Kuznet curve,简称 EKC)是 Grossman 等<sup>[5]</sup>与 Shafik 等<sup>[6]</sup>于 20 世纪 90 年代初根据经验数据提出的描述经济发展与环境污染水平关系的计量模型。目前经常使用这一模型来描述区域经济发展与环境污染的关系,称经济发展水平与环境污染水平的关系呈倒 U 字形。

国内学者也对 EKC 模型做过讨论与分析。张晓<sup>[7]</sup>根据中国环境与经济数据发现,我国拥有较弱的倒 U 形 EKC。吴玉萍等<sup>[8]</sup>发现,北京市的经济增长与环境污染之间存在 EKC 关系。苏伟等<sup>[9]</sup>对吉林省经济增长与环境之间的关系进行分析后亦得出了 EKC 关系存在的结论。宋涛等<sup>[10]</sup>运用我国各省的面板数据进行环境分析,认为我国部分环境污染指标符合库兹涅兹曲线,部分仍然呈线性关系,可能仍处于环境污染的冲突区间。李志涛等<sup>[11]</sup>根据鄱阳湖流域的经济发展与水污染情况验证了 EKC 模型的存在。根据以往的研究,EKC 模型在实际生活中确实存在并对我们的经济发展与环境保护的协调起着重要的指导作用。

近年来,随着云南省经济的快速发展,流域污染负荷总量快速增加,滇池、洱海、星云湖、杞麓湖等湖泊的水质出现了明显的下降,生态系统的恶化又严重制约了当地经济的发展<sup>[12-13]</sup>。因此,研究湖泊水质的现状及发展,对控制、治理、保护好 9 大高原湖泊都具有重要的现实意义。

## 1 湖泊水质异质性分析

### 1.1 数据选取

选取 2002—2008 年云南省 9 大高原湖泊的水质与流域用地类型为研究对象,利用 ERDAS 9.2 对高分

分辨率 Quickbird 遥感影像(2008 年 4 月 23 日)目视解译并进行几何校正,定义投影参数;利用 ArcGIS 9.2 进行数字化解译后,查找云南省相关国土数据进行对比校正,参照中国土地资源分类系统及国家标准的《城市用地与规划建设用地标准(GBJ137—90)》并结合影像的实际清晰度,将 9 大湖泊流域土地分为耕地、园地、有林地、牧草地、城市建设用地、镇建设用地、村建设用地、独立工矿用地、特殊用地、湖泊水面、苇地、滩涂、沼泽地共 13 大类,聚类得到耕地、园地、有林地、牧草地、城镇村、独立特殊(指聚类后的独立工矿用地和特殊用地)、湿地和湖泊水域共 8 类用地。由于湖泊水域面积基本没有变化,同时考虑到湖泊水域用地难以利用的现实状况,本研究只考虑前 7 类土地的变化。对比历年数据得到流域范围内土地利用的变化情况,求出各用地类型相对于流域总体面积来说的比例,通过比例的变化来反映土地利用变化(表 1)。

根据环保部门的监测数据得到 2002—2008 年云南省 9 大湖的总磷量(TP)、总氮量(TN)以及水质污染综合指数,以此作为湖泊流域水质变化的依据。为消除不同量级可能产生的计量困难,将水质指标进行了标准化,其标准化公式为:

$$y = (x - \bar{x}) / \sigma$$

式中:  $y$ ——指标标准化后的值;  $x$ ——指标标准化前的值;  $\bar{x}$ ——指标标准化前的均值;  $\sigma$ ——指标标准化前的标准差。

### 1.2 水质异质性分析

根据云南省 9 大高原湖泊的 3 个水质参数,综合分析湖泊水质的异质性。异质性是指过程和格局在空间分布上的不均匀性及其复杂性。水质的异质性主要通过 3 个水质参数在不同湖泊的变异系数累加后获得。

9 大湖泊虽同处云南高原,但湖泊构造、环境容量、土地利用开发程度等不同,不同程度上体现出云南高原这一特定条件下 9 大湖泊在不同空间分布下水质的不同性<sup>[14]</sup>。从图 1 中可以看出,异龙湖、星云湖、洱海、抚仙湖、杞麓湖水质差异较大,而这些湖泊的水质差异又主要体现在水平分布的差异性。异龙湖附近有石屏县城,星云湖附近有江川县城,洱海附近有大理市,抚仙湖附近有澄江县城,杞麓湖附近有通海县城,居民点的点源排放造成了湖泊水质污染的异质性。

表 1 云南省 9 大湖泊流域 2002 - 2008 年土地利用变化情况

湖泊流域	项目	耕地	园地	有林地	牧草地	城镇村	独立特殊用地	湿地
滇池	2002 年	0.316 9	0.069 6	0.450 9	0.02 30	0.073 3	0.064 5	0.001 7
	2008 年	0.290 4	0.066 5	0.445 0	0.022 9	0.086 9	0.086 6	0.001 7
	对比	-0.026 5	-0.003 1	-0.005 9	-0.000 2	0.013 6	0.022 1	4.3E -05
阳宗海	2002 年	0.386 3	0.038 7	0.468 1	0.047 6	0.033 7	0.024 4	0.001 3
	2008 年	0.364 3	0.038 2	0.474 4	0.046 5	0.043 6	0.031 6	0.001 3
	对比	-0.022 0	-0.000 5	0.006 4	-0.001 1	0.009 9	0.007 2	2.5E -05
洱海	2002 年	0.308 9	0.065 7	0.502 5	0.004 4	0.087 2	0.027 3	0.004 0
	2008 年	0.299 1	0.068 7	0.497 7	0.003 9	0.099 2	0.027 5	0.003 9
	对比	-0.009 8	0.003 0	-0.004 8	-0.000 4	0.012 0	0.000 3	-0.000 2
抚仙湖	2002 年	0.515 3	0.025 1	0.388 5	0	0.049 6	0.019 5	0.002 0
	2008 年	0.464 5	0.038 1	0.414 8	0.002 8	0.053 6	0.024 5	0.001 6
	对比	-0.050 8	0.013 0	0.026 3	0.002 8	0.004 0	0.005 0	-0.000 3
星云湖	2002 年	0.546 2	0.033 1	0.353 0	0	0.052 7	0.014 3	0.000 7
	2008 年	0.486 6	0.053 1	0.386 6	0	0.057 4	0.015 7	0.000 6
	对比	-0.059 6	0.020 0	0.033 6	0	0.004 7	0.001 4	-3.8E -05
杞麓湖	2002 年	0.340 2	0.041 6	0.553 8	2.02E -05	0.044 3	0.013 3	0.006 8
	2008 年	0.306 3	0.050 4	0.569 6	2.00E -05	0.050 9	0.017 0	0.005 9
	对比	-0.034 0	0.008 8	0.015 8	-2E -07	0.006 6	0.003 7	-0.001 0
程海	2002 年	0.231 6	0.006 1	0.733 4	5.02E -03	0.018 0	0.001 9	0.004 0
	2008 年	0.228 8	0.009 0	0.733 0	5.02E -03	0.018 1	0.002 1	0.004 1
	对比	-0.002 8	0.002 9	-0.000 4	0	9.4E -05	0.000 1	0.000 1
泸沽湖	2002 年	0.161 2	0.007 6	0.810 0	1.28E -02	0.006 7	0.000 5	0.001 3
	2008 年	0.152 2	0.013 3	0.813 2	1.28E -02	0.006 8	0.000 5	0.001 3
	对比	-0.009 0	0.005 7	0.003 2	0	8.7E -05	1.2E -5	5.0E -06
异龙湖	2002 年	0.287 2	0.012 3	0.676 4	2.40E -04	0.017 7	0.002 8	0.003 3
	2008 年	0.271 3	0.013 2	0.689 6	2.43E -04	0.018 8	0.002 9	0.004 0
	对比	-0.016 0	0.001 0	0.013 2	3E -06	0.001 1	3.9E -05	0.000 7

注: 对比为该湖 2008 年此类土地利用方式所占比例与 2002 年所占比例的差值; 独立特殊类指聚类后的独立工矿用地和特殊用地。

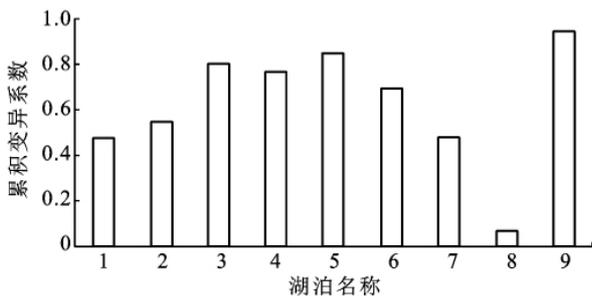


图 1 云南省 9 大湖泊水质异质性

注: 1 滇池; 2 阳宗海; 3 洱海; 4 抚仙湖; 5 星云湖;  
6 杞麓湖; 7 程海; 8 泸沽湖; 9 异龙湖

## 2 土地利用状况与湖泊水质关系

### 2.1 模型建立

流域水环境与时空尺度密切相关, 目前分析各因素对水环境的影响方法主要有两种, 即基于水文数据的统计分析方法和基于水文过程(机理)的模拟模型

方法。后者虽然具有明确的物理机理和较高的模拟精度, 但由于缺乏所需的大量数据, 加之因不同区域(流域)的土地覆被和土壤性质等差别较大而导致不同区域的降水径流过程各不相同, 因此在实践中受到较大限制。而基于流域水文过程观测数据和土地利用变化数据, 利用统计分析方法研究不同因素对水文过程的影响仍是目前进行水文过程影响因素分析的可行且有效的方法之一。同时, 土地利用对水环境影响的贡献的剥离一般有两种方法: 一是通过选择特定的水质指标(对某种特定的土地利用活动有显著响应)以评估土地利用的影响。二是对比不同时期、不同地点各影响因素的差异与水质特征的差异, 通过统计分析(方差分析和 t 检验等), 剥离土地利用和其它因素对水环境的影响。本研究采用统计分析方法分析人为因素(主要是土地利用变化)在不同时间尺度下对湖泊水质的影响, 旨在揭示影响典型水文过程

主要因素的特征时间尺度。通过遥感判读得到的土地利用数据,从环保部门获得湖泊水质数据,并借鉴郭青海等<sup>[4]</sup>的研究结果,建立计量分析模型:

$$NPS = \alpha \times \exp(\beta_1 \times \text{Geng} + \dots + \beta_7 \times \text{shi})$$

式中: NPS——径流污染物; Geng——耕地面积占土地总面积的比例; Shi——湿地面积占土地总面积的比例;  $\alpha$ ——系数,根据当地水文资料,该系数取 1;  $\beta_1, \dots, \beta_7$ ——分别代表各用地类型与水质指标之间的相关性,当系数为正时,表明该土地利用类型对污染物产生了正向作用,即加重了污染,当系数为负时,表明该土地利用类型对污染物产生了负向作用,即减轻了污染。

## 2.2 计算分析

由于云南省 9 大湖泊流域水质观测时间较短,为了全面完整地反映 9 大湖泊流域水质与土地利用类型的关系,本研究采用面板数据模型(panel data)进行定量分析。考虑到计量分析的复杂性和准确性,采

用混合最小二乘估计、固定效应模型和随机效应模型进行对比,由于存在多重共线性的问题,故将城镇村建设用地与独立工矿用地和特殊用地合并减少多重共线性后得到结果如表 2—4 所示。

根据 Hausman 检验的结果,拒绝原假设,故采用个体固定效应模型。得到回归方程为:

$$TP = -1.80 - 14.33\text{Geng} - 47.06\text{Yuan} + 8.90\text{Lin} + 115.98\text{Mu} + 19.43\text{Cheng} - 159.77\text{Shi}$$

式中: Yuan——园地面积占总面积的比例; Lin——林地面积占总面积的比例; Mu——牧草地面积占总面积的比例; Cheng——城镇工矿用地和独立工矿用地占总面积的比例

根据 Hausman 检验的结果,拒绝原假设,故采用个体固定效应模型。得到回归方程为:

$$TN = -11.58 - 20.24\text{Geng} - 19.02\text{Yuan} + 15.75\text{Lin} + 79.71\text{Mu} + 28.57\text{Cheng} - 173.20\text{Shi}$$

表 2 研究区总磷面板数据估计结果

变量	混合最小二乘估计		个体固定效应模型		随机效应模型	
	$\beta$	$T$	$\beta$	$T$	$\beta$	$T$
C	25.34	2.47***	-1.80	-1.09*	13.93	0.75
Geng	-27.22	-2.72***	-14.33	-1.73**	-18.76	-1.05*
Yuan	40.67	1.68**	-47.06	-2.03***	-16.76	-0.95
Lin	-29.58	-2.89***	8.90	1.40*	-16.28	-0.87
Mu	-71.57	-3.90***	115.98	1.05*	-8.60	-0.17
Cheng	88.98	4.07***	19.43	1.49*	-23.69	-0.66
Shi	-14.09	-0.18	-159.77	-1.86**	-127.42	-0.79
DW	0.17		1.71		1.58	
AdjR <sup>2</sup>	0.32		0.95		0.06	
F	5.965 697		88.984 39		0.585 289	
Prob	0.000 072		0.000 000		0.740 554	

注: \*\*\*表示在 5% 水平显著, \*\*表示在 10% 水平显著, \*表示在 30% 水平显著。C 表示模型的常数项, DW 表示模型采用德宾—沃森检验序列相关的检验值, AdjR<sup>2</sup> 表示调整后的拟合优度, Prob 表示 F 值对应的原假设成立的概率值。下同。

表 3 研究区总氮面板数据估计结果

变量	混合最小二乘估计		个体固定效应模型		随机效应模型	
	$\beta$	$T$	$\beta$	$T$	$\beta$	$T$
C	34.60	3.85***	11.58	-1.79**	16.22	1.20*
Geng	-32.63	-3.70***	-20.24	-1.48*	-18.56	-1.44*
Yuan	23.01	1.08*	-19.02	-1.17*	2.32	0.18
Lin	-37.16	-4.13***	15.75	0.01	-15.44	-1.14*
Mu	-72.99	-4.52***	79.71	-3.49***	-82.69	-2.07***
Cheng	98.65	5.13***	28.57	1.05*	20.19	-0.78
Shi	-289.02	-4.11***	-173.20	-1.32*	-75.37	-0.64
DW	0.10		1.71		1.43	
AdjR <sup>2</sup>	0.51		0.98		0.18	
F	11.769 02		197.446 4		3.339 465	
Prob	0.000 000		0.000 000		0.006 978	

表 4 研究区污染综合指数面板数据估计结果

变 量	混合最小二乘估计		个体固定效应模型		随机效应模型	
	$\beta$	$T$	$\beta$	$T$	$\beta$	$T$
C	15.93	2.59***	13.86	0.66	25.65	1.60*
Geng	-14.18	-2.35***	-27.56	-1.41*	-25.35	-1.64*
Yuan	32.38	2.22***	-49.80	-2.15***	-7.80	-0.49
Lin	-14.50	-2.35***	3.20	0.14	-23.63	-1.48*
Mu	-39.98	-3.62***	-81.22	-0.71	-41.87	-1.19*
Cheng	53.78	4.09***	53.20	1.34*	44.48	-1.43*
Shi	-58.16	-1.21*	-72.72	-0.38	-87.03	-0.67
DW	0.50		2.67		1.43	
AdjR <sup>2</sup>	0.33		0.87		0.18	
F	6.078 559		29.923 03		3.339 465	
Prob	0.000 060		0.000 000		0.006 978	

根据 Hausman 检验的结果, 拒绝原假设, 故采用个体固定效应模型。得到回归方程为:

$$\text{综合指数} = 13.86 - 27.56\text{Geng} - 49.80\text{Yuan} + 3.20\text{Lin} - 81.22\text{Mu} + 53.20\text{Cheng} - 72.72\text{Shi}$$

回归方程呈现出一定程度的相关性, 表明地类变化的确对湖泊水环境污染构成了一定作用, 整体影响程度较强。从计量分析结果可以知道, 在较宽松的 30% 显著性水平下, 耕地、园地、湿地显著减少了湖泊总磷量, 而有林地、牧草地、建设用地显著增加了湖泊含磷量; 另外, 牧草地、耕地、园地、湿地显著减少了湖泊总氮量, 而建设用地显著增加了湖泊含氮量; 园地和耕地显著减少了湖泊的污染综合指数, 建设用地显著增加了湖泊的污染综合指数。分析表明, 云南省 9 大高原湖泊流域的农业用地和湿地减轻了污染的程度, 而各类建设用地加重了污染的程度。

一般而言, 由于现代农业大量使用化肥、农药, 耕地、园地等农业用地会产生农业非点源污染, 加重湖泊的总氮、总磷等污染。云南省 9 大高原湖泊流域出现农业用地增加减轻湖泊总氮总磷的负相关规律, 主要得益于近年来云南省出台的环保政策。《滇池流域水污染防治“十五”规划》提出滇池全流域发展生态农业, 确保沿湖周边 2 km 范围内禁止或限制施用化学农药和化肥。

《云南省九大高原湖泊水污染综合防治“十一五”规划》指出, 要加快调整农产品种植结构, 发展生态农业和有机农业, 科学合理施用化肥农药, 优化平衡施肥技术, 在洱海流域内推广测土培方平衡施肥, 重点示范推广生物有机肥和有机无机复混肥。滇池全流域化肥、农药施用量逐年下降 2% 以上, 湖周 1 km 内不得种植蔬菜、花卉等高耗肥作物。洱海全流域在 2005 年施肥水平下, 氮素化肥施用量减少 5% ~ 10%, 磷素化肥施用量削减 10% ~ 15%。从数据分析

结果来看, 上述措施成效显著, 使湖泊总氮量和总磷量与农业用地之间呈现出一定程度的负相关关系。

### 3 土地利用强度与湖泊水质的关系

#### 3.1 数据选取

分别选取 1999—2008 年云南省 9 大湖泊流域二、三产业的地均产值和 9 大湖泊流域二、三产业的地均固定资产投资作为反映流域土地利用产出强度和投入强度的指标, 土地数据由前文所做土地利用与水质关系分析时所用的土地数据获得。采用二、三产业的地均产值和二、三产业的地均投入可以更加明确地反映工业与服务业对九大湖泊流域水质所造成的影响, 具有明确的指向。选取 1999—2008 年的总磷量、总氮量和综合污染指数这 3 个指标作为环境评价指标, 其中部分环境指标缺失值采用之前年份数据和之后年份数据进行线性插值获得。虽然该方法可能与实际值有所偏差, 但还是能较好地反映污染物增加或者减少的总趋势。

#### 3.2 模型建立

3.2.1 库兹涅兹曲线 采用库兹涅兹曲线方法对云南省 9 大高原湖泊所处的污染阶段进行定量研究。采用二、三产业地均产出与二、三产业地均固定资产投资替代常用的人均 GDP 作为分析指标, 采用非线性拟合的分析方法, 从土地利用强度的角度去分析经济结构中二、三产业与环境污染之间的关系, 使分析更加突出云南省 9 大高原湖泊流域土地利用强度变化与湖泊污染之间的关系及其对湖泊水质可能造成的影响。

3.2.2 云南省 9 大湖泊流域经济状况分析 9 大湖泊流域环境的变化过程与经济发展关系密切。通过数据分析可知, 2000—2008 年 9 大湖泊流域二、三产业经济呈增长趋势, 建设用地规模也不断扩大, 地均

产出、地均投入不断提升。以滇池流域为例,二、三产业地均产出从 1999 年的 207 万元/hm<sup>2</sup> 提升到 2008 年的 406.35 万元/hm<sup>2</sup>, 累计增长幅度达到 96.30%, 二、三产业地均投入从 1999 年的 61.5 万元/hm<sup>2</sup> 上升到 122.85 万元/hm<sup>2</sup>, 累计增长幅度达到 99.76%, 城镇的发展不可避免地加大了流域地区的产出强度。与之相反, 可以看到, 洱海、程海、泸沽湖等处于滇西以及滇西北的湖泊流域二、三产业地均产值较小, 由于自然环境等原因, 流域产出较低。

### 3.3 指标处理

首先对所选指标和环境监测指标进行无量纲处理, 公式为:  $x_{\text{total}} = (x - x_{\text{min}}) / (x_{\text{max}} - x_{\text{min}})$ ; 其次, 采用 AHP 法与当地环境污染现状及水文条件相结合, 确定各污染指标在整体污染指标中的权重, 计算得到总氮量、总磷量、综合污染指数所占权重分别为 0.171 2, 0.012 6 和 0.816 2; 最后, 运用综合加权和法求出整体污染指标  $Y$  的值。

### 3.4 计算分析

以 9 大湖泊流域 1999—2008 年地均二、三产业产值和地均二、三产业投入作为自变量  $x$ , 以环境指标为因变量  $y$ , 分别选取对数方程、二次方程和三次方程进行拟合。综合拟合度和各个检验统计分析, 并认为通过计量检验(在 20% 的显著性指标下显著)同时拟合度大于 0.3 才会有较为明显的相关关系。(1) 地均二、三产值与湖泊水质的库兹涅兹曲线阶段。阳宗海符合二次方程拟合, 处于冲突区间。抚仙湖符合三次方程拟合, 处于冲突区间。洱海符合三次方程拟合处于协调区间。泸沽湖符合三次方程拟合处于协调区间。程海符合二次方程拟合, 处于冲突区间。异龙湖符合三次方程拟合, 处于冲突—协调转型过程区间。(2) 地均二、三产业固定资产投资与湖泊水质库兹涅兹曲线阶段。滇池符合三次方程拟合, 处于协调区间。阳宗海符合三次方程拟合, 处于冲突区间。抚仙湖符合三次方程拟合, 处于冲突区间。星云湖符合三次方程拟合, 处于冲突区间。洱海符合三次方程拟合, 处于冲突—协调转型区间。泸沽湖符合三次方程拟合, 处于协调区间。程海符合三次方程拟合, 处于冲突区间。异龙湖符合三次方程拟合, 处于协调区间。

## 4 结论和讨论

### 4.1 结论

(1) 随着时间的变化, 云南省 9 大高原湖泊各流域产业结构逐渐变化, 星云湖、杞麓湖等湖泊流域第二产业呈上升趋势, 而滇池、洱海、泸沽湖等湖泊流域

第三产业呈上升趋势, 以工业、服务业为主体的地类空间扩张造成了液体废弃物未经处理的排放与固体废弃物的排放, 直接导致了流域水体的污染。同时建设用地中居住区日常生活产生大量未经处理或未完全处理的污水, 也造成了流域水体的污染。

(2) 云南省 9 大湖泊流域第一产业在产业结构中的比重逐年下降, 使得原本以耕地、园地等为主导的农用地类以及湿地等自然地类可以有效起到的过滤污染物的作用受损, 使农用地和湿地对湖泊“肺”的净化作用显著下降。

(3) 环境政策因素同样影响着 9 大湖泊的环境现状。自 20 世纪 90 年代末国家加大了对滇池治理力度, 滇池污染得到了明显改善。而对于阳宗海、星云湖等小湖泊而言, 政策保护力度还有待加强, 这些湖泊到目前为止还未出现库兹涅兹曲线的拐点, 须加强湖泊的保护与治理力度, 避免湖泊水质继续恶化, 实现湖泊与社会经济和谐相处, 最终达到可持续发展的目标。

### 4.2 相关建议

(1) 云南省 9 大湖泊湖滨区域土地利用的变化确实对水环境变化产生了一定程度的影响。耕地和园地数量显著的负相关于水环境中总氮量、总磷量以及污染综合指数, 而建设用地显著正相关于水环境中总氮量、总磷量以及污染综合指数。这与通常分析下农业用地可能增加水环境中总氮量和总磷量水平的结果略有不同。这得益于近年来云南省政府出台的多项关于高原湖滨地区防治非点源污染的政策及其实施, 限制了含氮类化肥及磷酸盐化肥的使用, 导致湖泊总氮量、总磷量与农业用地之间呈现负相关关系, 使农用地能够起到减缓湖泊水环境恶化的“肺”净化作用。

(2) 对于阳宗海、抚仙湖、星云湖、程海而言, 其流域环境正处于库兹涅兹曲线的“冲突”阶段, 这对 4 个湖泊未来发展提出了严峻的考验。发展经济未必一定要以破坏环境为代价。应调节产业结构, 减少第二产业所占比重, 加强对污染物排放的管理, 保证区域水环境质量。

(3) 对于滇池、洱海、泸沽湖、异龙湖而言, 其流域环境正处于库兹涅兹曲线的“协调”阶段, 对这 4 个湖泊来说, 由于对环保的重视, 产业结构的改善, 经济发展与环境保护“双赢”局面将随着环保措施的深入逐渐显现。仍然要重视污染的防治工作, 使良好的势头可以保持下去。

(下转第 266 页)

样性指数要高于原始群落,达到更稳定的状态。

(3) 物种丰富度随海拔的上升和下降呈相同的变化趋势。通过对物种丰富度与环境因子之间的关系得阐述结果表明,物种丰富度主要受海拔变化影响,具有较好的线性相关性。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 陈廷贵,张金屯. 山西关帝山神尾沟植物群落物种多样性与环境关系的研究: I. 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(5): 406-411.
- [2] 刘创民,李昌哲,苏云良,等. 北京九龙山灌丛植被的物种多样性分析[J]. 林业科学研究, 1994, 7(2): 143-148.
- [3] 郭正刚,王根绪,沈禹颖,等. 青藏高原北部多年冻土区草地植物多样性[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 149-155.
- [4] 杨元合,饶胜,胡会峰,等. 青藏高原高寒草地植物物种丰富度及其与环境因子和生物量的关系[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 200-205.
- [5] 周华坤,赵新全,唐艳鸿,等. 长期放牧对青藏高原高寒灌丛植被的影响[J]. 中国草地, 2004, 26(6): 1-11.
- [6] 吴勇,苏智先,方精云. 九顶山药用植物资源多样性研究[J]. 西华师范大学学报: 自然科学版, 2005, 26(1): 25-31.
- [7] 孙士云. 青藏铁路沿线的生态环境特点及保护对策[J]. 冰川冻土, 2003, 8(25): 181-185.
- [8] 马克平,黄建辉,于顺利,等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究: II. 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [9] 郭正刚,刘慧霞,孙学刚,等. 白龙江上游地区森林植物群落物种多样性的研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(3): 388-395.
- [10] 李新荣,张景光,刘立超,等. 我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 257-261.
- [11] 高贤明,陈灵芝. 北京山区辽东栎(*Quercus liaotungensis*)群落物种多样性的研究[J]. 植物生态学报, 1998, 22(1): 23-32.
- [12] 杨利民,韩梅,李建东. 中国东北样带草地群落放牧干扰植物多样性的变化[J]. 植物生态学报, 2001, 25(1): 110-114.
- [13] 王正文,邢福,祝廷成,等. 松嫩平原羊草草地植物功能群组成及多样性特征对水淹干扰的响应[J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 708-716.

(上接第 260 页)

(4) 尽管说经济增长会最终改善环境质量,但是这是社会技术进步、全社会环保意识提高、环保政策合理并有效付诸实施的结果。9 大湖泊流域仍然需要在发展经济的同时,重视环保教育工作,加大对环保投资力度,采取有效的生态补偿措施,制定有效的生态保护政策并切实执行,才能最终达到人与环境协调发展。

致谢: 感谢云南省环保厅等单位对本研究工作的大力协助。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Basnyat P, Teeter L D, Flynn K M, et al. Relationships between landscape characteristics and nonpoint source pollution input to coastal estuaries [J]. Journal of Environmental Management, 1999, 23(4): 539-549.
- [2] Tong Susanna T Y, Chen Wenli. Modeling the relationship between land use and surface water quality [J]. Journal of Environmental Management, 2002, 66(4): 377-393.
- [3] Ren Wenwei, Zhongyang, Meligrana J, et al. Urbanization, land use, and water quality in Shanghai 1947-1996 [J]. Environment International, 2003, 29(5): 649-659.
- [4] 郭青海,马克明,杨柳. 城市非点源污染的主要来源及分类控制对策[J]. 环境科学, 2006(11): 2170-2175.
- [5] Grossman M, Krueger B. Environmental Impacts of a north American Free Trade Agreement [D]. Princeton NT: Woodrow Wilson School, 1992.
- [6] Shafik N, Bandyop adhyay S. Economic Growth and Environment Quality: Time Series and Crosscountry Evidence [R]. Background Paper for World Development Report Washington D C: World Bank, 1992.
- [7] 张晓. 中国环境政策的总体评价[J]. 中国社会科学, 1999, 19(3): 95-98.
- [8] 吴玉萍,董锁成,宋键峰. 北京市经济增长与环境污染水平计量模型研究[J]. 地理研究, 2002, 21(2): 239-246.
- [9] 苏伟,刘景双. 吉林省经济增长与环境关系污染研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(2): 37-40.
- [10] 宋涛,郑挺国,佟连军. 基于面板协整的环境库兹涅兹曲线的检验与分析[J]. 中国环境科学, 2007, 27(4): 572-576.
- [11] 李志涛,黄河清,张明庆. 鄱阳湖流域经济增长与水环境污染关系研究[J]. 资源科学, 2010, 32(2): 267-273.
- [12] 师莉莉,杨晓红. 滇中三大湖泊氮、磷水质变化趋势研究[J]. 环境科学导刊, 2007, 26(S): 67-69.
- [13] 郑国强,于兴修,江南,等. 洱海水质演变过程及趋势[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(1): 99-102.
- [14] 于洋,张民,钱善勤,等. 云贵高原湖泊水质现状及演变[J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 820-828.