

滇池流域社会经济发展对滇池水质变化的影响

潘珉¹, 高路²

(1. 昆明滇池生态研究所, 昆明 650228; 2. 云南民族大学, 昆明 650000)

[摘要] 收集了1960年至2008年滇池水质及社会、经济指标,应用相关性分析方法,对滇池流域人口、昆明市GDP的增长与滇池TN, TP, COD_{Mn}之间的关系进行了研究。结果显示,滇池水体富营养化程度与滇池流域人口、昆明市GDP密切正相关,流域人口增加、经济发展是滇池水体富营养化的主要原因。社会经济发展对滇池草海水体所造成的压力高于外海,且草海水质有继续恶化的趋势。由于滇池综合治理工作的不断推进,特别是2000年滇池水污染防治“十五”计划实施以来,滇池流域社会经济发展对滇池外海水质的影响有所减轻,外海水质继续恶化的趋势得到初步遏制。

[关键词] 滇池;水质;社会经济发展;相关性分析

[中图分类号] X22 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)06-0117-06

1 前言

滇池流域位于云贵高原中部,地处长江、红河、珠江三大水系分水岭地带,属长江流域金沙江水系,是中国第六大淡水湖,属断陷构造湖泊,流域面积2 920 km²,历史上是昆明市赖以生存和发展的重要水源地,素有“高原明珠”的美誉。整个滇池流域包含于昆明市辖区范围内,流域内分布有五华、盘龙、西山、官渡、呈贡、晋宁、嵩明7个县区的50多个乡镇。滇池湖体位于昆明市主城西南方向,在1 887.2 m高水位运行下,湖水面积309.5 km²,库容15 × 10⁸ m³,最大水深10.24 m,平均水深4.4 m^[1]。

自古以来,人类文明伴水而生,滇池流域是云南省人口高度密集、工业化和城市化程度最高、经济最为发达、投资增长和社会发展最具活力的地区之一。近几十年来,滇池流域人口快速增长、经济飞速发展给滇池流域水环境带来了巨大的压力^[2,3]。同时由于历史上的围湖造田以及城市排水系统和污水处理设施建设的相对滞后等因素,滇池入湖污染负荷日益加重,滇池水质迅速恶化,生态环境遭到严重破坏。滇池水体富营养化已经成为影响和制约昆明区

域经济社会发展的重要因素。“九五”开始,尤其是“十五”以来,滇池污染治理的问题受到中央、省、市等各级政府的高度重视,滇池被国务院列为重点治理的“三河三湖”之一,其治理工作得到快速推进。

2003年5月,云南省委、省政府作出了建设现代新昆明战略决策。新昆明建设在地理位置上围绕滇池进行,进一步大力推进的城市化进程必将对滇池生态环境带来影响。通过分析历史上滇池流域人口、经济对滇池水质变化的影响,试图揭示滇池流域社会经济发展与滇池水质变化的规律,为新昆明可持续发展战略的制定和滇池长期治理与保护工作提供理论支持。

2 滇池流域社会、经济发展状况

2.1 人口增长迅速、高度集中、非农业人口比例增加

近几十年以来,滇池流域人口快速增长,20世纪60年代,滇池流域人口105万,仅仅几十年之后,2006年人口总数就已达到340万人^[4-8](见图1)。1980年至今,整个昆明市的人口自然增长率维持在6%~8%^[9]。随着滇池流域的城镇化进程,人口

[收稿日期] 2009-12-18

[作者简介] 潘珉(1978-),女,云南昆明市人,昆明市滇池生态研究所工程师,研究方向为湖泊生态、环境科学等;

E-mail: panmin333@gmail.com

结构发生显著变化,农业人口比率逐渐下降,非农业人口的比率逐年增加。2006 年全流域人口密度达 1 164 人/km², 远远大于云南省的人口密度 113 人/km², 整个滇池流域占云南省土地面积的 0.7%, 却聚集了云南省 7.6% 的人口, 人口高度集中。流域内人口分布有北高南低的特征, 人口主要集中于滇池北部的昆明主城, 即五华区、盘龙区、官渡区和西山区, 滇池东侧和南侧的呈贡县、晋宁县人口密度相对较低^[9]。

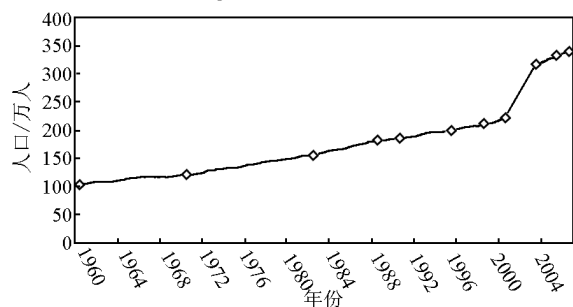


图1 滇池流域人口变化^[4-6]

Fig. 1 Demographic changes in Dianchi Lake Basin^[4-6]

2.2 滇池流域是云南省经济发展水平最高的区域

滇池流域占云南省土地面积的 0.7%, 却创造了全省 24% 的 GDP, 是云南省经济最具活力的地区。从图 2 可以看出, 改革开放 30 年, 昆明市经济飞速发展, 生产总值年均增长 17%^[9], 远远高于全国的 9.8% 和云南省 9.7% 的水平。2005 年滇池流域 GDP 达到 845 亿元^[6]。近几十年经济发展过程中产业结构随之出现巨大变动, 第一产业比重大幅度下降, 第二产业比重变化不大, 第三产业快速发展, 比重逐步提高^[9]。

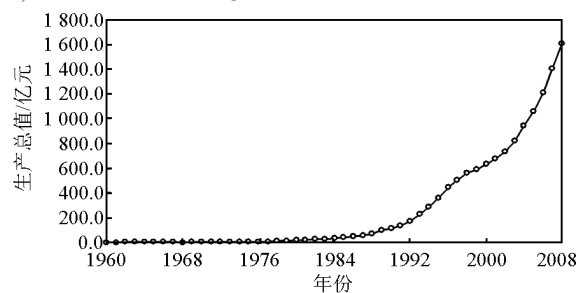


图2 昆明市生产总值变化^[9]

Fig. 2 GDP changes in Kunming City^[9]

3 滇池水体富营养化变化特征

20 世纪 50 年代, 滇池水清澈见底, 水生植物丰

富, 是许多鱼和鸟类的良好栖息地, 水质达到地表水 II 级标准, 70 年代为 III 类, 80 年代以后, 滇池水质迅速恶化, 水质污染严重, 水体富营养化。水质的污染导致水生植被面积大大缩小, 群落类型显著减少, 植物密集度下降, 植物区系趋于贫乏^[10]。1996 年西园隧道修建后, 流入草海的水体直接从西园隧道进入螳螂川, 不再从位于外海西南侧的天然出水口海口河流出, 从此滇池草海与外海被海埂船闸分割为两个水域, 草海面积约占全湖的 3.3%。外海约占全湖的 96.7%。草海的富营养化状况比外海严重, 2008 年草海营养状态指数为 77.9, 处于重度富营养状态, 外海营养状态指数为 66.4, 处于中度富营养状态^[11]。滇池在过去的短短几十年内, 经历了巨大的变化, 由贫营养化的湖泊变为富营养化的湖泊, 由大型水生植物占优势的水生生态系统转变为浮游植物占优势的水生生态系统, 蓝藻水华年年大规模爆发。

笔者收集了 1960—2008 年的 TP, TN 与 1982—2008 年的 COD_{Mn} 浓度数据^[4, 11, 12] (见图 3), 可以看出 1960 年以来, 草海的 TN, TP 浓度呈现明显的

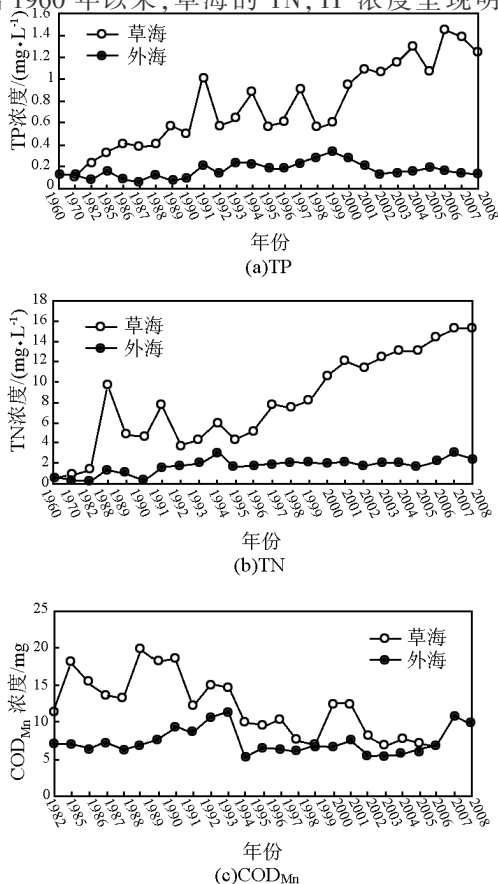


图3 滇池 TN, TP, COD_{Mn} 浓度变化

Fig. 3 TN, TP, COD_{Mn} change in Dianchi Lake

逐步升高的趋势。外海 TN 浓度总体有逐步上升的趋势; TP 浓度在 2000 年前一直保持逐步增加, 1999 年达到最高峰, 2000 年后有逐步下降的趋势。从 1982 年以来的 COD_{Mn} 浓度数据看出, 草海、外海似乎均表现出逐步下降的趋势, 但 2007, 2008 年有所回升。

4 社会、经济因素与滇池水质相关性分析

4.1 流域人口与滇池水质相关性分析

为了研究并证明滇池流域人口增加对滇池水质所造成的影响, 对流域人口与草海、外海的 TN, TP, COD_{Mn} 浓度进行相关性分析。在对滇池水质多年变化的分析当中发现, 2000 年是水质变化的关键年。同时, 2000 年也是“十五”计划实施的开端年, 即滇池治理大量的主要工作是在“九五”之后的 2000 年展开的, 所以以 2000 年为分界, 采用 SPSS12.1 分别对 1960—2006 年及对 2000 年前与 2000 年后分别进行相关性分析, 并对相关系数 r 进行显著性检验, 分析结果见表 1。

相关性分析结果表明, 20 世纪 60 年代至今, 草海 TP, TN、外海 TN 与流域人口密切相关, 随着滇池流域人口的增加, 草海的 TN, TP 和外海的 TN 浓度均有不断上升的趋势, 且相关系数极显著。滇池流域人口与外海 TP 相关性不强。流域人口与草海的 COD_{Mn} 相关性不强。

1960—1999 年, 随着滇池流域人口的增加, 草海和外海 TP 与 TN 均呈现不断上升的趋势。其中草海 TP, TN 与流域人口呈现很好的相关性, 流域人口与 TP 极显著相关, 与 TN 显著相关。外海 TP, TN 与流域人口的相关性不如流域人口与草海 TP, TN

强, 且相关系数均不显著。1960—1999 年, 流域人口与草海和外海的 COD_{Mn} 浓度呈现负相关, 但相关系数较低, 且不显著。

2000—2006 年相关性分析结果有明显变化。随着滇池流域人口的增加, 草海 TP 与 TN 浓度仍然呈现上升的趋势, 外海 TP 浓度呈现明显的降低趋势, 但显著度检验均不显著。滇池流域人口与外海 TN 浓度相关性不强。2000—2006 年随着滇池流域人口的增加, 草海 COD_{Mn} 浓度降低, 且相关系数极其显著; 但其与外海 COD_{Mn} 相关性不强。在此要特别说明的是, 由于对所收集到的流域人口数有限制, 2000—2006 年观察值只有 4 对, 对相关性分析的结果有所影响。2000 年以后人口与滇池水质的相关性变化还需要更多的观察值进行进一步的研究与考证。

4.2 昆明市 GDP 与滇池水质相关性分析

由于历史资料的限制, 无法收集到历史上滇池流域的生产总值资料。但是, 滇池流域 GDP 占整个昆明地区的 79.5%^[9], 是昆明地区经济最为发达的区域。所以, 采用历史上昆明地区的 GDP 代替滇池流域 GDP 数据, 与滇池外海、草海水质进行相关性分析。同样地, 分别对 20 世纪 60 年代以来, 及 2000 年前后进行相关性分析。

相关性分析结果表明(见表 2), 20 世纪 60 年代至今, 随着昆明市经济的快速发展, 草海和外海的 TP, TN 浓度均有不断上升的趋势。其中草海 TP 和 TN、外海 TN 与生产总值密切相关, 相关系数极显著, 外海 TP 与生产总值关系不明显。生产总值与草海的 COD_{Mn} 浓度极显著负相关, 与外海的 COD_{Mn} 浓度相关性不强。

表 1 滇池水质与滇池流域人口相关统计

Table 1 Correlation coefficient statistics of Dianchi Lake water quality and the population of basin

年份	草海						外海					
	TP		TN		COD _{Mn}		TP		TN		COD _{Mn}	
	相关系数 r	p	相关系数 r	p	相关系数 r	p	相关系数 r	p	相关系数 r	p	相关系数 r	p
流域 1960—2008	0.959	0.000	0.915	0.000	-0.697	0.037	0.408	0.213	0.787	0.004	0.219	0.571
人口 1960—1999	0.964	0.000	0.768	0.044	-0.382	0.526	0.634	0.127	0.722	0.067	-0.539	0.348
2000—2006	0.72	0.280	0.921	0.079	-0.984	0.016	-0.92	0.08	0.151	0.849	-0.197	0.803

表2 昆明市 GDP 与滇池水质相关统计

Table 2 Correlation coefficient statistics of Dianchi Lake water quality and the GDP of Kunming City

年份	草海						外海					
	TP		TN		COD _{Mn}		TP		TN		COD _{Mn}	
	相关系数 <i>r</i>	<i>p</i>	相关系数 <i>r</i>	<i>p</i>	相关系数 <i>r</i>	<i>p</i>	相关系数 <i>r</i>	<i>p</i>	相关系数 <i>r</i>	<i>p</i>	相关系数 <i>r</i>	<i>p</i>
昆明 1960 — 2008	0.858	0.000	0.892	0.000	-0.662	0.000	0.258	0.193	0.671	0.000	0.098	0.640
市 1960 — 1999	0.552	0.017	0.571	0.026	-0.755	0.001	0.857	0.000	0.695	0.004	-0.181	0.501
GDP 2000 — 2006	0.694	0.038	0.962	0.000	-0.161	0.678	-0.593	0.092	0.666	0.050	0.743	0.022

1960 — 1999 年,随着昆明市经济的快速发展,草海和外海的 TP 与 TN 均显著升高。其中草海 TP, TN 与昆明市 GDP 呈正相关,且显著;外海 TP, TN 与昆明市 GDP 相关系数高于草海,且极显著。昆明市 GDP 与草海 COD_{Mn} 浓度呈极显著的负相关,与外海 COD_{Mn} 浓度相关性不强。

2000 — 2006 年,随着昆明市经济的快速发展,草海的 TP 与 TN 均显著升高,且相关系数均高于 2000 年前的相关系数。外海 TP 呈现明显的降低趋势,但显著度检验不明显, TN 仍然保持继续增长的趋势,相关系数显著。昆明市 GDP 与草海 COD_{Mn} 相关性不强,与外海呈显著正相关。

5 社会、经济因素对滇池水污染的影响

特定地区和城市由于自身土地及其他资源的限制,必然只能承担相应的人口规模。而近几十年来滇池流域户籍人口和流动人口的高速增长,使得滇池流域人均水资源占有量不足 300 m³,昆明成为极度缺水的城市。同时人口的高度密集以及人口的快速城镇化,还带来一系列的水环境问题。城市生活污水产生量迅速增长的同时,排水管网、污水处理能力相对滞后,导致滇池流域生活污染源不断上升。生活污染源 TN 的污染贡献率由 1988 年的 52 % 增长到 2002 年的 72 %,生活污染成为滇池流域污染物产生量增长的主要来源^[13]。加之饮用水量的逐年增长,使得滇池清洁补给水、生态用水严重匮乏,给滇池流域水环境带来了巨大的压力。

改革开放以来,滇池流域特别是滇池东岸的呈贡县,大力发展蔬菜和花卉的种植业,促使流域农业迅猛发展。虽然第一产业比重大幅下降,但由于第一产业生产总值总量的增长及农业化肥施用量的不合理增长,使得 1988 年以来非点源污染呈上升趋势^[13],其中农业面源污染贡献最大。20 世纪 90 年代以后,工业污染源得到有效控制,1995,1998 年以

后工业污染物产生量迅速下降,2002 年工业污染源 TN, TP 排放量仅为 1998 年的 26 %, 20 %^[13]。第三产业的兴起,对生产总值的贡献比重不断提高,同时其所产生的污染物对滇池的压力也日渐增加。

通过流域人口、生产总值与滇池草海、外海水质的相关性分析结果,可以看出近几十年滇池流域经济、社会因素对滇池水质影响的特点。

1) 社会、经济的高速发展是滇池水体富营养化的重要原因。从人口、GDP 与滇池水体 TN, TP 浓度的相关性分析结果可以看出,滇池流域人口、昆明市 GDP 与滇池水体富营养化程度密切相关,受到滇池流域人口的不断增加、GDP 快速增长的影响,滇池水体富营养化趋势明显。

2) 昆明社会、经济发展对草海的压力高于外海,草海水质继续恶化的趋势明显。比较社会、经济因素对滇池草海与外海 TN, TP 的相关性分析结果发现,草海 TN, TP 的变化受到社会经济因素的影响较外海更为显著。滇池北部的昆明主城,是滇池流域人口高度密集、城镇化水平最高的区域。紧邻昆明主城的草海汇水区域全部位于昆明主城区内,大多数流经昆明主城的河流均流入草海。1996 年西园隧道的建成使得污染较重的草海水体不再流入外海,外海、草海水体无交换,昆明主城所产生污染物绝大部分流入草海,草海受到流域人口增长、经济发展的压力远大于外海。随着流域人口的增长,经济的快速发展,草海水体仍然有明显的继续恶化的趋势。

滇池最大入湖河流——盘龙江汇入外海,经过多年的综合整治,盘龙江在昆明主城区汇入滇池的河道中属于污染较轻的河道,城市点源的有效控制使得外海受人口、经济发展所带来的压力有减小的趋势。同时,外海水域较大,水体自净能力强也是造成其受到人口、经济因素压力小于草海的原因。

3) 2000 年后滇池流域社会及经济发展对滇池

水质的影响特征有所变化。在流域人口持续增加的情况下,较之2000年前,2000年后草海TN,TP浓度与流域人口的相关性明显减弱,外海的相关系数也明显降低,甚至流域人口与外海TP成负相关。这表明2000年后对城市生活污水的收集处理措施取得初步成效。1990年滇池流域内建成处理能力 $5.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的第一污水处理厂,2000年流域内污水处理厂的处理规模为 $36.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,2004年达到 $58.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。随着2007年昆明市北岸截污工程的推进,污水处理厂改建、扩建工程大规模的展开,污水管网的建设与完善,2010年污水处理能力将达到 $101 \times 10^4 \text{ m}^3$,主城理论污水处理率达到95%。

在昆明市生产总值逐年持续增长的情况下,较之2000年前,2000年后草海TN,TP浓度与生产总值的相关性明显增强,表明经济发展对草海水体的压力仍然在持续加大。由于工业污染源得到较好的控制,考虑到历史上昆明市产业结构变化及草海的地理位置,第三产业中的旅游业、服务业等对生活污染源的贡献加大是造成经济发展对草海水质影响加强的原因。较之2000年前,2000年后外海TN,TP浓度与生产总值的相关性有所降低,特别是TP与生产总值均呈负相关。这表明2000年后经济发展对外海的压力在减小,即在工业、农业及第三产业持续发展的情况下,其污染物产生量及汇入滇池外海的量得到一定的削减,城市排水及污水处理工作取得一定的成效。

4)滇池外海磷的治理取得初步成效。滇池外海水体1960—1999年TP浓度一直不断上升,在1999年达到最高值,但2000年后呈现逐步下降的趋势。1990年以来不断提高的污水处理量与污水处理率,对2000年后外海TP浓度的下降起到了关键的作用。自1998年昆明市政府发布了《关于在滇池流域内禁止经销和限制使用含磷洗涤用品的通告》之后,昆明市严格控制含磷洗衣粉的销售,大力宣传、推广使用无磷洗衣粉,使得生活污水中的磷排放显著减少。同时“十一五”期间,滇池面山采石场的全面封停,南岸富磷区矿山的生态修复、植被恢复等措施均对外海磷流失起到了积极的控制作用。外海TP浓度的变化特征表明,20世纪90年代后实施的相关治理措施对滇池外海磷的治理取得一定的成效。

6 结语

通过对所收集到的20世纪60年代至今的滇池水质及人口、生产总值的整理、分析,笔者认为:随着滇池流域人口的不断增加、GDP的快速增长,滇池水体富营养化日益严重,滇池流域社会、经济的快速发展是导致滇池水体富营养化的重要原因;草海受到社会、经济发展的影响较外海更为显著,且继续恶化的趋势明显;随着滇池综合治理工作的不断推进,2000年后滇池流域社会及经济发展对滇池水质的影响开始减弱,滇池外海水质继续恶化的趋势得到了初步遏制,滇池综合治理工作取得初步成效。

滇池保护与流域内社会、经济发展是昆明市可持续发展研究的重要议题。科学合理的社会、经济发展模式对滇池保护意义重大,而同时随着日益提高的对人居环境的要求,滇池污染对昆明城市发展的负面效应也应将日益显现。虽然通过目前实施的外流域调水与污水收集处理等工程措施,已缓解了人口与经济发展对流域水环境所带来的压力,减缓了滇池水体恶化的趋势,但是,毕竟滇池环境容量有限,无序的人口增长与经济发展必将进一步给滇池带来灾难性的破坏。滇池流域内正在开展的新昆明建设,将进一步快速地推进滇池流域城镇化进程。在新一轮的城镇化进程中,稍有不慎就有可能导致滇池水质的进一步恶化。因此,依据滇池流域生态经济容量,通过科学的规划确定适宜的城市建设和人口控制规模,调整产业结构,对滇池水污染治理的意义非同一般。同时,进一步加大滇池综合治理的力度与资金投入,合理配套建设地下管网及污水处理设施,从而实现流域内人类与环境的协调、可持续发展。

致谢

感谢杜劲松、韩亚平高级工程师对该工作的指导与支持,李滨、何锋、郭艳英参与了数据收集整理的一部分工作,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 昆明市水利局水利志编写小组. 滇池水利志[M]. 昆明:云南人民出版社,1996
- [2] Xiangcan J, Li W, Liping H. Lake Dianchi: Experience and lessons learned brief, Towards a Lake Basin Management Initiative: Sharing Lessons and Experiences from GEF and Non-GEF Lake Basin Management Projects report[R]. 2006
- [3] 段昌群,王焕校. 滇池区域生态经济系统的特点及其同昆明

- 城市功能的关系的探讨[J]. 城市环境与城市生态, 1992, 3(5):31-34
- [4] 李益敏, 彭永岸, 王玉朝, 等. 滇池污染特征及治理对策[J]. 云南地理环境研究, 2003, 15(4):32-38
- [5] 李广润. 举全省之力, 加快滇池污染的综合治理[J]. 云南环境科学, 1993, (4):100-101
- [6] 李林红, 吴莉明. 从昆明市投入产出表看滇池流域经济与环境的影响关系[J]. 经济问题探索, 2001, (4):100-101
- [7] 昆明市政府. 滇池流域水污染防治“十五”计划[R]. 2000
- [8] 昆明市政府. 滇池流域水污染防治规划:2006—2010年[R]. 2005
- [9] 昆明市统计局. 昆明统计年鉴 2008[M]. 北京:中国统计出版社, 2008
- [10] 曲仲湘. 滇池污染与水生生物[M]. 昆明:云南人民出版社, 1983
- [11] 云南省环保厅. 云南省环境状况公报[R]. 1989—2008
- [12] 余国营, 刘永定, 丘昌强, 等. 滇池水生植物演替及其与水环境变化关系[J]. 湖泊科学, 2000, 12(1):73-80
- [13] 徐晓梅, 张琨玲. 影响滇池入湖污染物总量变化的主要因素分析[J]. 云南环境科学, 2004, 23(4):42-44

The influence of socio-economic development on water quality in the Dianchi Lake

Pan Min¹, Gao Lu²

(1. Dianchi Lake Ecology Institute, Kunming 650228, China;
2. Yunan University of Nationarity, Kunming 650000, China)

[Abstract] The water quality and the social economic data from 1960 to 2008 were collected, correlation analysis were used to study the relationship between the population, GDP and the TN, TP, COD_{Mn}. The results shows that there is close positive correlation between the socio-economic development factors and the Dianchi Lake's water quality, the rapid population growth and economic development is one of major reasons which cause the Dianchi Lake pollution. Caohai part was placed more severe pressure by socio-economic development than Waihai part, and the extent of eutrophication of Caohai part seems to be increasing. But on account of the Dianchi Lake's comprehensive pollution prevention and treatment, Dianchi lake's water quality has been less impacted by socio-economic development and the trend of pollution in Waihai has been basically curbed since the "The 10th Five-Year Plan of Dianchi Lake basin pollution prevention and treatment" started in 2000.

[Key words] the Dianchi Lake; water quality; socio-economic development; correlation analysis