

滇池流域大棚种植区面源污染释放规律

桂 萌 ,祝万鹏 ,余 刚 ,张鹏义

(清华大学环境科学与工程系 北京 100084)

摘 要 :为了研究和控制农田面源污染,掌握其污染释放规律,选择紧靠滇池的大渔乡大棚种植区作为研究样本,在 2001 年进行了旱季和雨季的连续监测。结果表明,旱季的污染负荷很小,只占全年总量的 5% ~ 10%,农田污染的释放主要集中在雨季(6 月 - 9 月),以地表径流的方式进入滇池,污染负荷占全年总量的 90% 以上。这主要由滇池流域特定的气候条件和灌溉方式所决定。

关键词 滇池流域 ;农田面源污染 ;农田灌溉水

中图分类号 :X524 文献标识码 :A 文章编号 :1672 - 2043(2003)01 - 0001 - 05

Release Regularity of Agricultural Non - point Pollution in Drainage Area in Dianchi Region

GUI Meng, ZHU Wan - peng, YU Gang, ZHANG Peng - yi

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: With the control of the urban point pollution in recent years in drainage area of Dianchi region, the agricultural non - point pollution loom large. To study and control non - point pollution, it is necessary to be aware of its release regularity. Taking Dayu Village as a sample, a continuous monitoring was performed in both dry and rainy seasons in 2001. The result showed that the pollution loading amount in the dry season accounted for only 5% ~ 10% of the whole year, and the majority of pollution is discharged in rainy season (June - September) by surface runoff, accounting for more than 90%. That is mainly caused by the local weather condition and irrigation style.

Keywords: drainage area of Dianchi; agricultural non - point pollution; irrigation water

滇池是我国著名的高原淡水湖泊,位于云南省中部,昆明市就坐落在滇池湖畔。滇池全湖面积 298.4 km²,平均水深 4.1 m,平均容量约 12 亿 m³,是一个具有城市生活供水、工农业供水、养殖、防洪、旅游、疗养、航运、调节径流和发电供水等多种功能的湖泊,被誉为“高原明珠”。20 世纪 70 年代时,滇池水质良好,具有丰富的生物多样性,而到了 90 年代,滇池出现了严重的富营养化,根据 1997 年—1998 年的采样分析结果,草海水质已远超出 V 类水标准(国家地面水环境质量标准 GB 3838—88,下同),氮、磷年均浓度分别达到 4.9 mg · L⁻¹ 和 0.71 mg · L⁻¹,水质发黑发臭;外海水质已接近 V 类水标准,氮、磷年均分别高达 2.234 mg · L⁻¹ 和 0.245 mg · L⁻¹。

滇池富营养化的主要成因是入湖污染负荷远远大于滇池的环境容量所致,污染源主要有来自城市生活和工矿企业为主的点源、农业区域为主的面源和湖体内源。由于湖体内源较难监测和控制,因此,对点源和面源的研究和治理就成为保护滇池、控制其进一步恶化的主要手段。

滇池沿岸地区有几万公顷的农田,养育着几十万农业人口。

从整体来看,通常情况下,每年排入滇池的污染负荷情况如表 1。

磷是目前滇池富营养化的主要限制因子,若仅仅控制点源只能削减 50% 左右的磷排放,滇池仍然会

表 1 滇池年污染负荷组成

Table 1 Composition of pollution loaded to Dianchi

项目	总氮(TN)	总磷(TP)	BOD ₅	COD _{Cr}
总量/t	4 702.8	455.7	9 162	20 877
点源比例/%	68.8	55.1	90.08	88.3
面源比例/%	31.2	44.9	9.92	11.7

收稿日期: 2002 - 04 - 28

基金项目: 国家科技部与云南省 2000 年启动的“国家重大专项——滇池水污染治理技术研究”项目下设的“滇池流域面源污染控制技术”课题的一个子专题

作者简介: 桂 萌(1977—),清华大学环境工程系,在读硕士。

E - mail: guimeng@ 263. net

继续富营养化。

从局部来看,滇池分为草海和外海,其中草海点源污染所占的比例为:TN 91.2%, TP 90%, BOD₅ 95.5%, COD_{Cr} 94.7%, 点源污染是主要的;而对于外海,面源污染所占的比例为:TN 41.3%, TP 58.5%^{*}。就引起富营养化的主要因素氮、磷来说,点源污染和面源污染同等重要。由于滇池水体的主要部分是外海,占到滇池湖面总面积的 96% 以上,并且随着昆明城市污水处理厂工程、滇池北岸截污工程和西苑隧洞工程的相继建成运行,滇池的生活和工业点源污染已经得到有效控制,面源氮、磷入湖量所占的比例越来越大,因此控制农业面源污染已经成为解决滇池富营养化和蓝藻爆发的关键。

近些年来,在经济利益的推动下,滇池流域的种植结构有了很大的调整,大棚花卉和大棚蔬菜的种植面积大幅度上升,尤其是昆明市的呈贡、官渡两县,在水源地防护带的大棚种植面积就有 0.26 万 hm² 左右,所产生的地表径流成为滇池流域农业面源污染的主要来源。要研究针对这种污染方式的控制工艺,首先要搞清它的污染物排放模式、排放规律以及负荷量。由于农田地表径流具有极强的突发性、随机性、不均匀性和片面性等特点,加之农村没有像城市排水管网那样的集水系统,因此,必须依靠长期的现场调查和监测,在取得第一手的数据后,才能找出适合的治理措施。

为此,选定昆明市呈贡县大渔乡作为研究样本,在 2001 年进行了旱季和雨季的现场监测,本文即是在此基础上得出滇池流域大棚种植区面源污染释放的初步结论。

1 样本背景

呈贡县大渔乡位于滇池东岸紧靠滇池,面积约 12.5 km², 村民几乎全部以种植大棚蔬菜和花卉为生,大棚覆盖面积占到全乡面积的 70% 以上,是典型的大棚种植区。农田中的地表径流主要通过很多条与滇池相连的明渠(土沟渠或石砌沟渠)入湖,这些明渠既是灌溉的主干沟,又是农田排水的通道。该地区旱季主要的灌溉方式如图 1 所示。

滇池流域的旱季和雨季界限分明,每年的 6 月—9 月为雨季,降雨频繁,集中了全年 80%~85% 的降水量;其余的 8 个月为旱季,降雨稀少,日照强烈,作

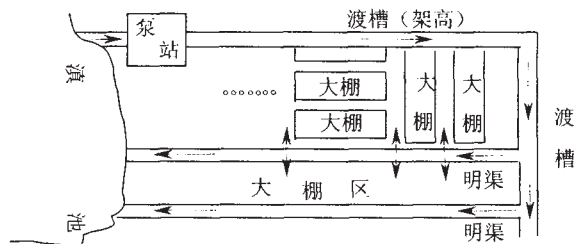


图 1 旱季主要灌溉方式

Figure 1 The main mode of irrigation in dry season

物生长主要依靠外来水源。因此,乡里在滇池边上建造若干泵站和架高的水泥渡槽,旱季定期(间隔 2~4 d)从滇池抽水,通过渡槽将水送向农田上游,沿途通过明渠上开的出水口流入大棚间的小沟储存起来,农民从小沟中舀水进行瓢浇,多余的水量排入滇池。而在雨季,不但需要泵站抽水,相反,大量的雨水从田间汇入明渠,再沿明渠流入滇池。

2 水质监测内容与分析方法

2.1 旱季监测内容

旱季对全乡所有的入湖明渠进行流量监测,同时挑选几条最具典型性和代表性的较大的明渠进行水质的连续测定。监测点均设在明渠末端的入湖口附近,以准确得到最终入湖的污染负荷。

水质监测项目共有 3 项,分别为总氮(TN)、氨氮(NH₃-N)和总磷(TP)。

2.2 雨季监测内容

雨季的监测主要集中在前两场暴雨,因为经过前两场暴雨的清洗,农田和村镇中的污染物大部分已被冲走,后期降雨形成的径流相对较干净。在两条流量最大的明渠上、下游设监测点,同时随机选取一条大棚间的小沟(棚中的农作物处于生长期),在其排水入明渠的入口附近再设一个监测点,以测定雨水在田间冲刷所造成的营养物流失情况。明渠上的监测点同时监测水质水量,而小沟处监测点只监测水质。水质监测项目共 5 项,分别为总氮(TN)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、固体悬浮物(SS)和化学需氧量(COD_{Cr})。

2.3 分析方法

所有水质指标分析方法按照《水和废水监测分析方法》规范操作,TN、TP 的测定用过硫酸钾消解-紫外分光光度法,NH₃-N 的测定用纳氏试剂-分光光度法,SS 的测定用滤纸抽滤法,COD_{Cr} 采用重铬酸钾法。流量测定采用浮漂法。

* 该数据来自《滇池水污染治理技术研究项目投标书》,投标课题名称:滇池流域面源污染控制技术

3 监测结果

3.1 旱季监测结果

3.1.1 水量监测

大渔乡的境内共有 16 条田间明渠直排滇池,由于分属几个泵站供水,因此每天渠内的水量情况各不相同,多数渠末端经常处于静止或干涸状态,只有对应泵站抽水的日子才会有剩余的农灌水流下来,总的流量情况如图 2 所示。

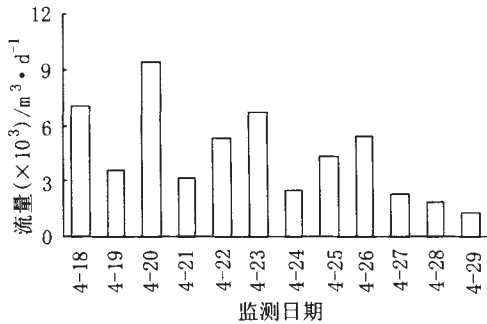


图 2 旱季日入湖流量图

Figure 2 Total daily flow to Dianchi in dry season

图中各点代表了当日 16 条沟渠总的入湖水量,监测时间从 2001 年 4 月 18 日—29 日。该段时间内天气晴朗,没有任何降雨,是典型的旱季时段。从图中数据看出,入湖流量随时间波动很大,泵站不抽水的日子流量很小,而抽水的日子里流量却倍增。从该段时间的流量数据估算,整个大渔乡旱季时的平均入湖流量约 $4\,400\text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。

3.1.2 水质监测

选取 1#、6#、12#、13# 四条较典型的、只流经农田(无生活污水排入)的明渠进行连续的水质监测,监测时间从 2001 年 4 月 18—24 日,水质监测数据如表 2、

表 3、表 4 所示。

从表中数据可以看出,旱季流入滇池的农田灌溉水水质较好,各项营养物的平均浓度均很低: TN 约 $2.254\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TP 约 $0.039\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 约 $0.651\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。平均浓度的计算方法采用流量加权平均法,如下式:

$$C_{\text{平均}} = \sum (C_{ij} \times Q_{ij}) / \sum Q_{ij}, i = 1 \sim 4; j = 1 \sim 7$$

式中: $C_{\text{平均}}$ ——TN 或 TP 的流量加权平均浓度, i ——监测明渠的编号, j ——监测日期的编号, C_{ij} ——第 i 条明渠中第 j 天的浓度, Q_{ij} ——第 i 条明渠中第 j 天的流量。

这主要与前面介绍的当地的灌溉方式有关。由于当地种植的全是大棚作物,农民主要通过瓢浇来进行人工灌溉,因此大棚内部几乎没有多余的水流出,农民所施的化肥、农药等污染物无法随水进入明渠;另外,即使有部分营养物通过在土壤溶液中的侧渗、扩散等过程进入大棚间的小沟,仍旧无法进入明渠中,因为农民在小沟蓄满足够的水量后,就堵死明渠上所开的出水口,待小沟内的水用尽后再打开明渠的出水口,重新蓄满小沟。

3.1.3 农田面源污染负荷

虽然不同的明渠水质有所差别,但是由于相同的灌溉方式和相似的种植结构,从 4 条典型明渠的监测情况来看,各项水质指标波动不大,水质比较均一。将前面计算出来的流量平均浓度近似作为整个大棚种植区旱季入湖径流的平均浓度,然后乘以 16 条明渠总的入湖平均流量($4\,400\text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$),可以大致估算出整个大渔乡大棚种植区旱季时入湖污染物的平均负荷量: TN 约 $9.92\text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$, TP 约 $0.17\text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 约 $2.86\text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$ 。全年旱季(8 个月)的污染负荷为:

表 2 总氮(TN)浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 2 The concentration of TN ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

明渠编号	4 月 18 日	4 月 19 日	4 月 20 日	4 月 21 日	4 月 22 日	4 月 23 日	4 月 24 日
1#明渠	3.366	0.953	1.313	0.874	0.841	1.492	4.571
6#明渠	1.314	1.088	1.200	1.638	2.571	0.908	1.245
12#明渠	1.196	1.223	1.099	1.335	1.167	0.964	0.874
13#明渠	5.344	1.358	1.852	1.728	1.728	1.110	1.549

表 3 总氮($\text{NH}_3 - \text{N}$)浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 3 The concentration of $\text{NH}_3 - \text{N}$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

明渠编号	4 月 18 日	4 月 19 日	4 月 20 日	4 月 21 日	4 月 22 日	4 月 23 日	4 月 24 日
1#明渠	0.887	0.707	0.290	0.335	0.45	0.567	0.864
6#明渠	0.622	0.410	0.258	0.413	1.901	0.355	0.758
12#明渠	0.790	0.481	0.130	0.335	0.424	0.415	0.367
13#明渠	0.850	0.747	0.447	0.730	1.224	0.490	0.613

表 4 总磷(TP)浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
Table 4 The concentration of TP($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

明渠编号	4 月 18 日	4 月 19 日	4 月 20 日	4 月 21 日	4 月 22 日	4 月 23 日	4 月 24 日
1#明渠	0.080	0.040	0.015	0.030	0.009	0.043	0.056
6#明渠	0.035	0.074	0.022	0.040	0.057	0.066	0.019
12#明渠	0.074	0.005	0.005	0.017	—	0.049	—
13#明渠	0.072	0.005	0.003	0.026	0.057	0.057	—

注:“—”代表浓度太低,超出仪器检测下限,近似按照 $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理。

表 5 对应旱季流量($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
Table 5 The corresponding data of flux in dry season($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)

明渠编号	4 月 18 日	4 月 19 日	4 月 20 日	4 月 21 日	4 月 22 日	4 月 23 日	4 月 24 日
1#明渠	794.9	276.5	302.4	285.1	77.76	156.4	53.6
6#明渠	803.5	319.7	103.7	43.2	103.7	30.24	43.2
12#明渠	250.6	181.4	829.4	146.9	32.8	540	204.8
13#明渠	2 471	1 071.4	1 062.7	440.6	789.7	779.3	811.3

TN 约 $2.38 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, TP 约 $0.041 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 约 $0.69 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

3.2 雨季监测结果

3.2.1 流量监测结果

选取 1#渠和 13#渠的上、下游作为明渠监测点,同时随机选取几条大棚边沟作为小沟监测点。2001 年雨季大渔乡的前两场暴雨分别发生在 5 月 29 日和 6 月 3 日,两场雨均集中在 21:00 以后,其流量数据见图 3 所示。

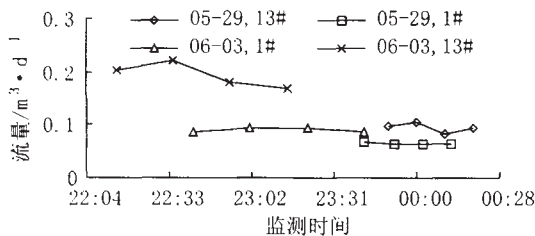


图 3 雨季流量监测图

Figure 3 The monitoring data of flux in rainy season

图中各点代表该明渠上、下游监测点流量的差值,从雨量仪记录的数据来看,两场雨强度差不多,只是由于 5 月 29 日第一场雨监测时缺乏经验,错过了降雨高峰,因而监测流量偏小,时间间隔定为 10 min;第二场雨监测时到位较快,所以监测到的流量较大,时间间隔定为 20 min。与 1#渠和 13#渠的旱季数据比较,暴雨时流量要高出两个数量级以上。

3.2.2 水质监测结果

对于两条明渠,水质的监测与下游水量的监测同步,只是 1#渠 6 月 3 日的最后一个水样意外被毁,只有流量数据而没有水质数据。见表 6、表 7。

从水质的监测数据来看,雨季入湖明渠流中的各

表 6 5 月 29 日水质监测数据($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 6 The monitoring data of water quality in May 29th($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

取样点	TN	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TP	COD_{Cr}	SS
1#(23:42)	5.046	0.848	0.183	24.637	5.2
1#(23:52)	5.246	1.002	0.157	33.036	27.2
1#(0:02)	4.590	0.978	0.170	20.158	6.0
1#(0:12)	9.144	1.365	0.155	19.627	57.2
13#(23:50)	8.251	0.705	0.202	22.397	22.4
13#(0:00)	8.725	0.628	0.163	18.198	58.4
13#(0:10)	8.616	0.729	0.183	10.374	51.2
13#(0:20)	9.053	0.607	0.168	19.318	134

表 7 6 月 3 日水质监测数据($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 7 The monitoring data of water quality in June 3rd($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

取样点	TN	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TP	COD_{Cr}	SS
1#(22:42)	13.72	0.620	0.061	34.72	15.4
1#(23:02)	20.16	0.583	0.061	37.50	10.0
1#(23:22)	17.81	0.635	0.081	33.56	9.2
13#(22:15)	9.95	0.752	0.042	30.83	350.0
13#(22:35)	8.00	0.708	0.052	40.28	110.0
13#(22:55)	13.39	0.737	0.102	40.84	265.2
13#(23:15)	10.87	0.635	0.061	38.61	230.4

项污染物浓度波动均不太大(SS 除外),平均浓度的计算方法也采用流量加权平均法,其平均浓度 TN 约 $9.94 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TP 约 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 约 $0.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, COD_{Cr} 约 $29.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。其中 COD_{Cr} 普遍较低,说明农田径流中有机物含量较低,而氮磷浓度均明显高于旱季平均值,其主要原因是暴雨对农田的冲刷,不仅将大量的富含氮磷的土壤颗粒、农田垃圾冲入渠中,而且将大棚间小沟中的存水也冲入渠中(大棚间小沟水质见表 8),这些存水中溶有大棚内渗出的肥料,而且 SS 浓度普遍较高,反映出雨水对农田土

壤的冲刷作用。

对于随机选取的那条大棚间小沟,其水样的采集与 13#渠的监测同步,两侧大棚中种植的是芹菜和康乃馨(当地最普遍的作物)监测数据如表 8。

表 8 大棚间小沟水质监测数据($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 8 The monitoring data of water quality in small ditches($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

日期	时间	TN	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TP	COD_{Cr}	SS
5 月 29 日	23:50	2.86	0.217	0.357	20.47	108.8
	0:00	2.07	0.243	0.307	2.804	130.8
	0:10	2.62	0.290	0.372	1.402	98.80
	0:20	3.98	0.316	0.396	9.519	126.0
	0:20	3.98	0.316	0.396	9.519	126.0
6 月 3 日	22:15	6.61	0.342	0.076	46.67	785.5
	22:35	7.25	0.461	0.078	49.17	476.9
	22:55	5.63	0.505	0.074	41.67	434.8
	23:15	6.27	0.407	0.089	31.11	371.6

3.2.3 农田面源污染负荷

事实上,由于农田土壤的下渗和吸收作用,小雨和中雨时,形成的地表径流并不明显,只有大雨和暴雨才能将大多数降水直接转化为地表径流。根据多年的气象资料,昆明市年平均大雨和暴雨日约 11.7 d(降水量 $\geq 25 \text{ mm}$),其降水总量约占全年的 50%~60%,统计数据表明,整个大渔乡每年雨季的地表径流量约为 375 万 m^3 ,全乡约 70% 为农田面积,则约有 260 万 m^3 的径流量来自大棚种植区,将该径流量乘以前文算出的雨季入湖径流的污染物平均浓度,则近似得到雨季的污染负荷量:TN 约 $25.84 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,TP 约 $0.26 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 约 $1.82 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,远远大于旱季的数值。

4 结论与讨论

综合所有的监测数据,大致可以得出滇池流域大棚种植区的农田面源污染释放规律:

(1) 规整的灌溉沟渠和合理的灌溉方式决定了在旱季只有很少量的、间歇性的灌溉余水沿农田明渠排入滇池,且水质较好,各种污染物浓度很低。整个旱季的污染负荷只占全年负荷的 5%~10%。

(2) 长时间的雨季和频繁的大雨、暴雨次数,使得农田中积累的污染物在雨水的冲刷下释放出来,包括

可溶性的和大量被水流卷带的悬浮物,这些污染物是滇池氮磷污染的重要来源之一。整个雨季的污染负荷占全年负荷的 90% 以上,是最主要的污染时期。

(3) 从污染负荷的绝对数值来看,大棚种植区的年平均氮磷释放量又远小于秧田、稻田等敞开式的种植方式,因为高比例的大棚覆盖,阻挡了雨水对农作物根部土壤的直接冲刷,大大减少了肥料的流失。从水体保护的角度出发,应该提倡在滇池流域发展大棚种植产业,减少露天农田面积所占的比例。

(4) 从整个滇池流域的面源污染组成情况来看,除了大棚种植区的农田地表径流以外,还有农村固体废弃物、村镇污水、台地水土流失等其他污染来源。但是如果以入湖的氮磷量来衡量各自所占的比重,则大棚种植区对 TN 的贡献量约占 55.5%,TP 约占 55.2%,是最主要的污染源。

综上所述,要治理滇池流域的农业面源污染,必须针对这种污染释放的特点,即低浓度大流量的地表径流,发生时间集中(大、暴雨期间),发生频率较高(降雨频繁),分布范围很广,难于引导和收集。传统的污水处理工艺很难有用武之地,只有从生态的角度出发,退耕还湖,在滇池周边形成一定距离环湖湿地带,在地表径流进入滇池以前,首先经过湿地带的缓冲和净化,利用湿地带中丰富的动植物和微生物资源,对径流中的营养物进行同化和异化作用,使其从水中去除。另外,要提高全民的环境意识,认识到滇池流域农业生产对滇池污染的严重性,从各个角度减少污染源的产生和释放。

参考文献:

- [1] 刘忠翰,彭江燕. 滇池流域农业区排水水质状况的初步调查[J]. 云南环境科学, 1997, 16(2).
- [2] 周俊杰,赵 斌,朱熔钢. 对滇池流域水污染防治的几点思考[J]. 云南环境科学, 2000, 19(增).
- [3] 金相灿. 中国湖泊水库环境调查研究[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1990.
- [4] 郭慧光,闫自申. 滇池富营养化及面源控制问题思考[J]. 环境科学研究, 1999, 12(5).