

杨树华 贺彬 著

滇池流域的 景观格局与面源污染控制



云南科技出版社

滇池流域的 景观格局与面源污染控制

杨树华 贺彬 著

云南科技出版社

责任编辑:夏映虹

封面设计:杨 峻

滇池流域的景观格局与面源污染控制

杨树华 贺彬 著

云南科技出版社出版发行(昆明市书林街 100 号)

云南教育印刷厂 印装 新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:11 字数:250 千

1998 年 5 月第 1 版 1998 年 5 月第 1 次印刷

印数:1—1000

ISBN 7-5416-1138-7/X·19 定价:25.00 元

若发现印装错误请与承印厂联系

前 言

滇池是云南高原面积最大的淡水湖,素以“高原明珠”而著称。以滇池为中心的滇池流域,是云南省政治、经济、文化的中心。滇池及其入湖河流和水库是流域区工农业生产和城乡生活用水的主要水源。70年代以来,随着城市和工业生产的迅速发展,滇池污染和流域的生态问题已成为该地区经济和社会发展的障碍,并引起国内外有关部门的高度重视。围绕滇池污染和流域的生态问题,各有关部门进行了大量的研究工作,这些工作涉及到滇池污染和流域生态环境问题的各个方面:包括自然环境的特征和现状、大中型建设项目的环境影响评价、环境质量评价、水土流失研究、治理措施和区域规划等。国家科委也把滇池的问题列为“七五”和“八五”期间的重点攻关项目进行研究。

在滇池及其流域的环境和生态问题中,最主要的是滇池的水污染问题。水环境污染的污染源,大致可以分为点源和面源两类。点源指工业废水和城市污水集中排放造成的污染;面源则指暴雨产生的径流冲刷地面的污染物,通过地表漫流而带入江河造成的污染。面源污染的主要特征是:以扩散的方式发生,时断时续,绝大部分与气象事件的发生有关;在进入地表水之前,发生在广大的土地上;不能在发生之处进行监测,真正的源头难以或无法跟踪;污染物的消灭或控制必须在一定的地点,在农村是对土地的管理和保持,在城市则是对建筑业的控制;面源污染不能用排放标准来度量;污染的大小程度至少有一部分与不可控制的气象事件、地理地质条件有关。从这些特征不难看出,绝大部分面源污染是人类活动影响造成的,其中影响最大的是人类对土地的利用方式和各种利用方式的空间组合格局。

从景观生态学的观点来看,一个区域的土地特征和土地利用状况及其在空间的组合格局,实际上就是这个区域的景观空间格局。而对地表径流的研究证明:土地特征、土地利用与地表径流在内部结构中存在着密切的联系,而这种联系又直接影响着地表水体的环境质量。地表径流的稀释、扩散和自净作用深受地形特征、土壤性质和土地利用方式的影响。由此可见,对面源污染而言,区域的景观格局实际上是影响其地表水质的主导因子,特别在流域区,这种影响就更为突出。

国内外近期的研究结果证明:在所有的水质问题中,有50%以上是由于面源污染造成的。特别是在湖泊和水库的流域区,农业和城市径流所携带的养分(特别是氮、磷两种元素)过量输入湖泊和水库,造成这些水域的富营养化,使水域生态系统发生变化,水质恶化。工业发达国家经过20多年的环境污染治理,点源污染已基本得到控制,而面源污染则正在成为危害环境的重要因子。研究还证明,尽管造成地表乃至地下水质污染的面源类型很多,但最重要且分布广泛的是农田径流和水土流失带来的面源污染。

纵观滇池研究的已有成果,对滇池污染问题的研究大部分是以对点源污染问题,或流

域中某一生态因子,或者是局部地区的问题为主进行的,对流域的面源污染问题以及面源污染与流域生态结构或景观格局关系的研究涉及不多。而近年来国内外许多研究证明,要解决湖泊或水库的面源污染问题,必须从流域的尺度上考虑所需的控制方法和手段,把景观格局及土地利用过程所导致的水文特征变化及其对地表水环境的影响,作为环境规划和区域开发的重要因素,并将土地利用管理和地表水质管理联系起来,进行统筹协调。这种思想和做法已经越来越多地为资源管理领域的决策者和研究者所接受。毋庸置疑,如果将面源污染控制与区域的景观结构和土地利用过程割裂开来,想成功地控制面源污染是不可能的。如果不从流域生态系统的组成特征和整体功能发挥程度的角度,来认识滇池流域的生态问题并实行综合治理,局部地区的研究和治理并不能从根本上解决滇池流域的生态问题。

本书应用景观生态学的基本原理和方法,对滇池流域的景观结构与面源污染的关系进行探讨。以流域生态系统的自然生产力和水土保持功能为核心,探讨流域生态系统的功能发挥状况与其空间结构之间的关系,为滇池流域的综合治理和管理提供理论和决策依据。

本书是在完成国家“八五”攻关项目《滇池流域规划及湖滨保护带工程技术研究》和博士论文《滇池流域自然生态系统评价研究》的基础上写成的。在本书的写作过程中,一直得到导师姜汉侨教授的悉心指导。云南大学生态所所长、党承林教授以及云南省环境科学研究所所长高级工程师郭慧光给予热情鼓励和支持,云大生态所闫海忠、彭明春先生帮助进行大量的数据处理和计算,云南省环境空间信息中心的朱翔、姚美香工程师在GIS分析和制图工作中给予很多帮助。在此对所有支持和帮助本书写作的同志一并表示衷心的感谢。

目 录

第一章 自然状况及面源污染特征	(1)
一 自然状况	(1)
二 面源污染特征	(4)
第二章 景观格局研究方法和指标	(11)
一 研究单元的划分	(11)
二 生态类型的划分	(16)
三 分析指标及其测定方法	(25)
第三章 山地区的景观格局及其生态状况	(32)
一 区域特征	(32)
二 生态类型构成	(35)
三 优势生态系统类型	(40)
四 空间结构	(42)
五 生态状况	(43)
第四章 台地区的景观格局及其生态状况	(54)
一 区域特征	(54)
二 生态类型构成	(56)
三 优势生态系统类型	(59)
四 空间结构	(60)
五 生态状况	(62)
第五章 湖滨区的景观格局及其生态状况	(69)
一 区域特征及生态系统类型的组成	(69)
二 空间结构及其生态状况	(72)
第六章 主要生态系统类型的生态功能及面源污染物输出特征	(75)
一 分析指标和研究方法	(75)
二 结果分析	(79)

三 结 论 (87)

第七章 典型小流域水土流失状况 (90)

一 上游地区 (90)

二 下游地区 (92)

三 结 论 (93)

第八章 景观结构与生态状况综合评价 (94)

一 评价指标 (94)

二 评价方法及标准 (96)

三 评价结果分析 (98)

第九章 面源污染控制区划 (102)

一 面源污染控制区划的目的 (102)

二 面源污染控制区划的原则和方法 (103)

三 面源污染控制分区 (104)

四 各区面源污染控制对策 (107)

主要参考文献 (109)

附 录 (113)

附 图

第一章 自然状况及面源污染特征

一 自然状况

(一)地理位置

滇池流域地处云南高原中部,东经 $102^{\circ}30'$ ~ $103^{\circ}00'$,北纬 $24^{\circ}28'$ ~ $25^{\circ}28'$ 。在综合自然区划上,属东部季风区、中亚热带、云南高原—察隅区的滇中高原及滇东湖盆小区。行政区划上属昆明市,包括昆明市的盘龙、五华两城区,官渡区,呈贡县,晋宁县的大部分以及西山区和嵩明县的部分地区。整个流域为沿北向东方向长轴延伸的弯月形,南北长约 109 公里,东西约 52 公里,流域面积 2920 平方公里。

(二)地质地貌

滇池流域位于扬子准台地西南边缘,历史上曾经过多次的褶皱运动、断褶运动和火山活动,地质构造复杂,整个流域基本上是一受南北向断裂控制的晚新生代断陷盆地。中生代末期,燕山运动已使整个流域褶皱成山,早新生代地壳相对稳定,在喜马拉雅运动的影响下断裂复活,断裂以东陷落形成滇池,接受大量沉积,断裂之西抬高遭受剥蚀,其后历经多次相对稳定时期和相对活动时期,在长期频繁的内外营力综合作用下,形成今日的景况。流域内地层发育比较齐全,四周山地及底部分布着元古界、古生界、中生界地层,流域中心及上部为第三系及第四系地层。这些地层由碳酸岩、松散岩、碎屑岩及喷出岩组成。

滇池流域的地形,大致为北高南低、南北向狭长的盆地形态,受地质构造的控制和其他因素的影响,在长期的内、外营力综合作用下,形成了基本上以滇池为中心,南、北、东三面宽,西面窄的不对称阶梯状地貌格局,第一级是以环湖的三角洲平原、湖积平原、冲积平原、洪积平原组成的内环平原,海拔在 2000 米以内,最低点为滇池湖面,海拔 1887.5 米;第二级为以由中山、岗地、湖成阶地及丘陵为主组成的中环台地丘陵,目前大都被流水侵蚀切割而未连片分布。海拔一般在 1900 ~ 2100 米之间,相对高度一般在 50 ~ 200 米间;再向外为由中山、低山组成的第三级外环山地,普遍受到中等或浅度切割,坡度一般较陡,海拔在 2100 米以上,相对高度一般大于 100 米,最高点在呈贡县境内的梁王山,海拔 2890 米。

根据形态、海拔高度和相对高度以及成因的不同,滇池流域的地貌划分为五类 10 种,各不同类型的地貌特征见表 1—1。

(三)气候

滇池流域属中亚热带季风气候区,气候变化主要受西南季风和西风南支气流交替控制。每年 11 月至次年 4 月,主要受热带大陆气团控制,晴朗少云,日照充足,总辐射强,蒸发力强大,气候温暖干燥;5 月至 10 月受西南季风影响进入雨季,普遍降水,湿度较大,日照少,这些特点与海拔较高、纬度较低的特征相结合,形成了冬暖夏凉,四季不分明,干湿季变化显著的气候特点。

滇池流域的年平均降雨量为 1035 毫米,年平均降水日数 135 天,降水的近 80% 集中在 5~10 月,其中 6、7、8 月为雨量多的时期,每月雨量常达 150~200 毫米,约占年总雨量的 60%,每月平均雨日在 20 天左右。受地形的影响,山地降雨相对较多,坝区降雨相对较少,北部和西部降雨相对较多,东部降雨相对较少。

表 1—1 滇池流域的地貌类型及其特征

一级分类	二级分类	高程	相对高度	主要地表物质
I 中山	I - 1 溶蚀中山	> 2500	500 ~ 1000	碳酸盐岩
	I - 2 侵蚀中山			砂页岩
II 低山	II - 1 溶蚀低山	2000 ~ 2500	200 ~ 500	碳酸盐岩
	II - 2 溶蚀低山			砂页岩、玄武岩
III 丘陵	III - 1 溶蚀丘陵	1900 ~ 2100	50 ~ 200	碳酸盐岩
	III - 2 溶蚀丘陵			玄武岩
	III - 3 剥蚀丘陵			沙质粘土
IV 低山	IV - 1 洪积台地	1900 ~ 2000	50 ~ 100	沙土、沙壤土
	IV - 2 冲积台地			沙壤土、壤土
V 平原	V - 1 滨湖平原		< 50	壤土、粘土

滇池流域的气温年较差小,日较差相对较大,年平均气温 14.5℃,最热月平均气温 19.7℃,最冷月平均气温 7.5℃,极端最高温 31.5℃,极端最低温 - 7.8℃,年平均日照 244.7 小时,≥10℃积温 4490.3℃,年平均相对湿度 74%,常年风向以西南风为多,频率为 18%,年平均风速 2.2 米/秒,春季风大,可达到 4~5 级。整个流域的北部以及 2100 米以上地区,温度稍低,降雨较多。

(四)植被、土壤

滇池流域的地带性植被是典型的亚热带西部半湿润常绿阔叶林,地带性植被类型是滇青冈林、高山栲林、元江栲林和黄毛青冈林。乔木层以壳斗科的常绿树种为优势,樟科、茶科、木兰科的植物种类较少。乔木层的主要树种是滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)、元江栲(*Castanopsis orthacantha*)、高山栲(*Castanopsis delavayi*)、滇石栎(*Lithocarpus dealbatus*)、黄毛青冈(*Cyclotalanopsis delavayi*)以及光叶石栎(*Lithocarpus mairei*)等,通常以其中的一种或两种树种组成群落的优势种。

滇池流域开发历史悠久,在长期的人类活动影响下,常绿阔叶林仅有少数以风景林,庙宇林和水源林的形式保存下来,在交通不便的偏远山地亦有分布。流域的现存植被,主要是针叶林(大部分为云南松林和华山松林)、灌丛及稀树灌草丛等。

滇池流域的地带性土壤为山原红壤,垂直地带性土壤从上至下为棕壤、黄棕壤、红壤。隐性土壤有水稻土、冲积土、沼泽土、紫色土等。各类土壤中以红壤、水稻土和紫色土的面积分布较大。红壤占流域土壤总面积的 73.8%,在整个流域范围内广泛分布。水稻土占 14.6%,多分布于湖滨地区,紫色土占土壤总面积的 7%,多分布于流域南部。

(五)水 系

滇池流域属金沙江水系,由入湖河流,滇池和出湖河流组成。滇池位于昆明市城区西南,是云南最大的高原湖泊,湖体略呈弓形,弓背向东,南北最长 40 公里,东西最宽 12.5 公里,湖岸线长 130 公里,当水位在 1886.5 米(黄海高程)时,平均水深 4.4 米,最大深度为 10.9 米,面积 300 平方公里,湖容为 12.9 亿立方米,滇池北部有一天然堤坎——海埂,将湖体分为南北两部分,中间仅以一航道相通,滇池主体称为外海,北部称草海,草海面积 12 平方公里。

汇入滇池的常年河流有 20 余条,流域面积 100 平方公里以上的有 9 条,即东大河、柴河、梁王河、捞鱼河、洛龙河、马料河、宝象河、盘龙江、西北沙河。此外还有新河、运粮河、王家堆渠、大青河、船房河等纳污河流,这些河流的总长度约 359 公里,从北、东、南三面注入滇池。入湖河流中最长的是盘龙江,盘龙江有东西两则,主源发源于嵩明县梁王山南麓的黄龙潭,注入松花坝水库后,流经昆明市城区后入滇池,全长 105 公里,流域面积 847 平方公里。滇池唯一的出口是位于滇池西南端的海口,滇池水经海口河、螳螂川及普渡河最后流入金沙江。松花坝水库是流域内第二大水域,位于昆明市北郊,离市区约 20 公里,原系 1946 年修建的谷昌水库,1958 年重建为松花坝水库,库容量为 6832 万立方米,水库供应着昆明市区 85% 左右的民用水和一部分工农业用水,是昆明市城区居民用水的主要水源。

(六)社会经济状况

以昆明市为中心的滇池流域,包括 3 个县、4 个区、33 个乡、10 个国营农场。由于自然条件优越,资源丰富和开发历史悠久,使之很早就成为云南省政治、经济文化和交通中心。滇池流域的社会经济状况主要有三个突出特点。一是人口增长快。1949 年,流域的总人口为 67.37 万,人口密度 257 人/ km^2 ,1982 年发展到 164.66 万,人口密度 431 人/ km^2 ,净增人口 97.27 万人,平均每年增加 2.95 万人,1988 年增加到 180.39 万,人口密度为 694 人/ km^2 ,平均每年净增人口 2.62 万。若按国家控制的指标(1985 年前为 13‰,1985 年以后为 9.5‰)增长,到 2000 年,滇池流域的人口将达到 197.26 万,人口密度将达到 752 人/ km^2 ,如此迅速的人口增长速度,对流域生态系统与社会经济的协调发展有极为重要的影响。二是城市发展迅速。解放初期,昆明城区的面积仅 7.8 平方公里,到 1982 年城区面积发展到 27.8 平方公里,城区面积扩大了 3 倍多,1993 年,昆明城区的面积已发展到 46.99 平方公里。按照昆明市总体规划,到 2000 年,规划市区面积将达到 98.60 平方公里。城市规模的迅速发展必然进一步激化城乡用地矛盾,使流域生态系统的负荷日益加重。三是工业生产集中。滇池流域集中了全省工业的 37%,工业总产值占全省的 44.35%,工业总产值的年平均增长率为 12.9%。滇池流域的工业,集中分布于昆明城区及城郊地带,特别是滇池环湖地区及盘龙江中下游两岸。工业过于集中,不仅加剧了城市居住、交通、能源、生产资料和生活必需品供应的紧张状态,还加重了滇池流域的环境污染。

二 面源污染特征

(一)面源污染物的来源

滇池流域的面源污染物,主要是氮、磷、COD 和 BOD₅ 等。这些污染主要来自以下几个方面:

1. 水土流失

水土流失是滇池流域面源污染的主要来源。据遥感调查的资料,滇池流域土壤微度侵蚀的面积占 62.5%,轻度侵蚀的面积占 31.0%,中度侵蚀的面积占 5.7%,强度侵蚀面积和极强度侵蚀的面积占 0.07%~0.15%。每年水土流失量约为 106 万吨,年平均侵蚀深度达 0.68 毫米。大量的土壤受侵蚀后随径流进入各入湖河流,继而进入滇池。据 1988 年水沙监测资料,滇池流域进入河道的土壤流失量达 23.06 万吨,推算的多年平均流失量达 39.89 万吨,这就是说,滇池流域平均每年有 1534 亩土地受到水土流失的破坏。水土流失不仅带走了大量的养分,还把大量的泥沙和氮、磷带入了滇池。由各河流悬沙氮、磷含量和悬沙入湖量推算出的滇池流域悬沙吸附的氮、磷入湖量见表 1—2。

表 1—2 滇池流域各入湖河流土壤氮、磷养分多年平均入湖量

河流名称	元素流失量(吨)		化肥流失量(吨)	
	氮	磷	氮	磷
盘龙江	52.58	31.55	223.57	226.97
宝象河	39.66	15.66	168.63	112.66
马料河	0.45	0.18	1.91	1.29
洛龙河	10.37	4.91	44.09	35.32
捞鱼河	1.03	1.78	4.38	12.81
梁王河	0.30	0.37	1.28	2.66
大 河	136.45	60.75	580.19	437.04
柴 河	20.95	18.80	89.08	135.25
东大河	65.53	29.87	278.63	214.88
古城河	17.55	68.77	74.62	494.73
西山散流	61.68	28.08	261.84	202.01
新 河	23.80	6.71	101.20	48.27
运粮河	0.62	56.13	2.64	403.80
大观河	62.14	55.28	264.22	397.68
船房河	104.19	92.56	442.46	665.88
大青河	104.19	92.66	443.02	666.00
合 计	701.26	564.06	2981.26	4057.85
总 计	1265.32		7039.11	

由表 1—2 可知:滇池流域入湖河流悬沙中所携带的氮、磷年输送量相当可观,氮素入湖量可达 701 吨,磷素入湖量达 564 吨。氮、磷两项合计达 1265 吨。折合成肥料,相当于每年损失氮、磷肥共 7039 吨。若以 1988 年的河流输沙量情况统计,入湖的氮素为 405 吨、磷素为 326 吨,折成氮肥 1724 吨、磷肥 2345 吨。由此可见,滇池流域的水土流失不仅破坏了大量的表土,而且营养物的流失大大加速了湖泊的富营养化。

2. 由湖面直接进入的污染

滇池流域由湖面直接进入的面源污染物主要包括湖面降水、降尘和湖面旅游带来的污染。据云南省环境科学研究所 1988 年的资料,由湖面直接进入的污染物负荷量见表 1—3。

表 1—3 1988 年由湖面进入的污染物负荷

地点		草 海			外 海			合 计		
污 染 类 别	污 染 物	总氮	总磷	COD	总氮	总磷	COD	总氮	总磷	COD
降 水	数量(吨/年)	6.80	0.27	11.46	236.64	9.34	397.81	243.07	9.61	409.27
	占数量的%	65.78	19.16	86.51	66.00	18.12	86.51	65.78	18.12	86.51
降 尘	数量(吨/年)	3.33	1.12		115.71	41.62		119.05	42.82	
	占总量的%	32.21	79.70		32.27	80.78		32.32	80.78	
旅 游	数量(吨/年)	0.20	0.02	1.79	7.18	0.57	62.05	7.39	0.58	63.84
	占总量的%	2.00	1.14	13.49	2.00	1.09	13.49	1.99	1.09	13.49
合 计	数量(吨/年)	10.34	1.40	13.25	358.53	51.52	459.86	369.51	53.01	473.11

从表 1—3 中可见,从滇池湖面直接进入的面源污染物为 895.63 吨。其中氮 396.51 吨,占 41.29%;磷 53.01 吨,占 5.92%;COD473.11 吨,占 52.82%。在三类不同的污染源中,来自降水的氮和 COD 的量较多,而磷的污染则主要来自于降尘污染。从总量来看,以来自降水的量最大,为 661.95 吨,占 73.91%;降尘污染的量次之,为 161.87 吨,占 18.07%;旅游污染的量最小,仅占 8.02%。

3. 地表径流

来自地表径流的面源污染物主要分为两类:城区地表径流的污染物和非城区地表径流的污染物。

城区径流主要是由暴雨产生的径流。根据云南省环境科学研究所 1988 年的资料,由城区径流产生的污染物量见表 1—4。

表 1—4

1988 年城区径流的污染量

计算的 城区面积 (km ²)	水 量 (万米 ³ /年)	总 氮 (吨/年)	总 磷 (吨/年)	BOD ₅ (吨/年)	COD (吨/年)
28.616	695	120.20	14.87	159.36	217.47

非城区地表径流也分为两类:入湖自然河流的径流和湖滨区径流。入湖自然河流指流域内不经城镇而流入滇池的河流。入湖自然河流携带的面源污染物见表 1—5。

表 1—5

1988 年经由河流入湖的地表径流和污染物

名 称	水量 (万米 ³ /年)	污染物数量 (吨/年)			
		总 氮	总 磷	BOD ₅	COD
古城河	228	3.58	2.98	8.98	19.80
东大河	2084	24.00	2.44	43.10	100.40
柴河支流	714	266.90	5.74	25.10	56.30
柴 河	3982	46.68	9.56	82.00	189.40
梁王河	277	3.18	0.20	11.10	23.20
捞鱼河	357	4.90	0.44	7.86	8.20
马料河	142	1.67	0.16	4.11	3.40
洛龙河	2651	25.54	1.80	51.30	88.00
宝象河	6456	148.70	7.61	256.10	281.00
合 计	16890	525.20	30.93	489.70	769.70

湖滨区地表径流指流域内 16 条入湖河流监测断面以下未控制的区域,包括滇池西岸西山一带。1988 年由湖滨区径流产生的污染物数量见表 1—6。

表 1—6

1988 年湖滨径流产生的污染物

计算的湖滨区 面积(km ²)	径流量 (万米 ³)	污染物数量 (吨/年)			
		总 氮	总 磷	BOD ₅	COD
464	5648	79.52	32.36	150.24	525.83

从表 1—5 和表 1—6 中可见,滇池流域由地表径流带来的面源污染物数量较大,产生污染量较大的是非城区径流,在非城区径流中,磷的污染主要来自湖滨区径流,而氮的污染则主要来自于入湖自然河流。

4. 农田不合理施肥

滇池流域共有农田 1036.8km², 占流域总面积的 35.5%, 其中园地 147.94km², 占 14.27%, 旱地 151.06km², 占 14.57%, 水田 722.85km², 占 69.22%; 菜地 14.95km², 占 1.44%。滇池流域的农田多分布于自然条件较好的湖滨及台地上, 近年来, 随着城市的发展和流域人口的增加, 土地利用强度大大增强, 特别是湖滨区, 复种指数由原来的 150% 增加到 175% 左右。土地利用强度的增加, 使单位面积土地上的肥料、劳力等投入量增加, 加大了面源的输出强度。

在各类农田中, 产生面源污染物最多的首数旱地。旱地一般分布在台地和低山地带, 并多为顺坡耕种, 水土流失量极大, 随泥沙流失的氮、磷也较多, 加上化肥施用的影响, 所产生的面源污染物是可观的。特别是近年来烤烟种植面积大幅度上升, 增加了坡旱地的耕种强度, 同时也增加了旱地污染物的输出强度。其次是菜地, 菜地由于施肥量大, 复种指数高, 产生的面源污染物量很大。滇池流域有菜地 14.95km², 基本上都分布在湖滨, 面源污染物向滇池输送的距离短, 对滇池面源污染的影响较大。据有关资料报道: 菜地每年每公顷施氮肥 450 公斤, 在暴雨径流中测到的流失量每年每公顷约 60 公斤, 流失量占施肥量的 13%, 如果包括向地下的渗透等损失, 流失量占施肥量的 20% 左右。水田的氮流失量约占肥量的 10%。各类农田的氮、磷流失状况见表 1—7。

表 1—7 滇池流域农田的氮、磷流失状况

农田 类型	施肥量 (公斤/公顷)		径流 量立 方米	氮 流 失 量			磷 流 失	
	氮肥	磷肥		径流中的 氮浓度 (mg/L)	氮流 失量 (kg/hm ²)	占施 肥量 (%)	径流中的 磷浓度 (mg/L)	磷流失 (kg/hm ²)
水 田	120	80	2000	6.00	12.0	10	0.70	1.4
菜 地	450	150	2000	30.00	60.0	13	1.25	2.5
平旱地	150	0	3000	5.00	15.0	10	0.73	2.2
坡旱地	150	0	4000	10.00	40.0	26	1.50	6.0

5. 农村生活废弃物和乡镇企业带来的污染

滇池流域有农业人口 70 余万人, 分散在全流域的大小村落。据典型村落调查, 每人每天平均向村外环境排污水 25 升, 排氮 0.3 克, 排磷 0.06 克。由于绝大部分农村根本无下水系统, 污水都积蓄在庄前屋后的地表或下渗到土壤中。村落不仅排放生活污水, 而且在村庄周围常堆积作为田间肥料的稻草、塘泥、圈肥、粪便等点源污染物, 在暴雨期都转化为非点源以暴雨径流的形式向下排放。暴雨期测得农村径流中氮的浓度为 11.1 毫克/升, 比一般农田氮的浓度高 2~3 倍, 磷的浓度为 1.70 毫克/升, 为一般农田的 4.6 倍。农村生活废弃物由点源转化为面源, 成为面源污染物的重要组成部分。

除农村生活废弃物外, 滇池流域有乡镇企业 30000 个左右, 这些企业技术设备落后,

耗能大,布局不合理,并且大部分与农业镶嵌在一起,排放的污染物大都积蓄在农业环境中,转化为非点源。从数量、布局分析,乡镇企业的污染已由点源污染逐步发展为面源污染,成为面源污染物的来源之一。

(二)面源污染物的区域分布

滇池流域的面源污染物的分布,因区域自然特征和社会经济状况的不同而异。

在山地区,由于环湖水库的修建和农田较少,暴雨产生的径流和面源污染物大都流入水库而不直接进入滇池。但是在下列两种情况下,也有少量污染物排放:一是水库群至湖滨区之间约有 25 万亩农田需要灌溉,每年灌溉期间约有 3000 万~4000 万方灌溉回归水进入滇池,这部分水中氮、磷浓度较低,携带的氮、磷量仅占入湖氮、磷总量的 2%和 3%左右。二是在丰水年有部分水库废水进入滇池,水量在 1.0 亿方左右,加上灌溉回归水,这部分水量输送的氮、磷仍不超过进入滇池的面源污染物总量的 5%,因此对滇池面源污染的影响较小。

台地区是产生面源污染物的重点区域,产生的面源污染物主要是水土流失携带的大量泥沙和氮、磷。由于台地区地处主要入湖河流的中游地段,相对高差较小,人为活动较山地区频繁,农田面积较大,特别是顺坡耕种的坡旱地和耕作强度较大的果园较山地区和湖滨区大,因而水土流失严重。台地区面源污染物产生、输送的特点是:在暴雨期间,面源污染物通过漫流进入沟渠,再流入河流的大、小支流后汇入干流,随着洪水波的运动集中向下游输送。台地区面源污染物的输出过程与河流的产流汇流过程有密切的关系。据有关资料分析,进入滇池的氮有 84%,磷有 90%是由这个区域产生的。

湖滨区产生的面源污染物对滇池的富营养化影响最大。湖滨区以农田为优势,农业生产以水稻和蔬菜为主,乡镇企业和村庄分布相对较为集中,因此,湖滨区的面源污染物不仅量大,而且来源较多,面源污染物大都以散流的方式弥漫进入滇池水体,因为流程短,对滇池污染的影响严重。

各区域面源污染物的产生及输入特征见表 1—8。

表 1—8 滇池流域各区域面源污染物的产生及输送特征

区 域	污染物主要来源	污染物的输入方式	占总量的 %
山地区	水土流失	大部分被水库拦蓄,少量从灌溉回归水和水库水中下渗滇池	2~4
台地区	水土流失	由散流进入支流,再进入河流干流,集中向滇池输入	80~90
湖滨区	农田施肥、农村生活废弃物及乡镇企业排放物等	在暴雨期以散流方式弥漫性进入滇池	15~20

滇池流域面源污染物的区域分布除在山地区、台地区和湖滨区有所不同外,各小流域的污染物量和种类也有较大差异。流域北部的盘龙江流域、宝象河流域等以 BOD₅、COD

及氮的污染较为严重;南部的大河流域、柴河流域以及西山散流区以泥沙量和磷的流失较为严重;东部的捞鱼河流域、洛龙河流域及梁王河流域除水土流失量大外,COD 和氮、磷的污染也较严重。

(三)面源污染物入湖量

滇池面源污染物输入量的大小,与流域降水量密切相关,因此,面源污染物的入湖量有极大的随机性和不确定性,并随水文年型的不同有很大差异。不同年型水文要素统计结果见表 1—9,污染物入湖量见表 1—10。

表 1—9 不同年型水文要素统计

年 份	主要雨站的降雨量(毫米)										入湖 径流 (亿方)
	南坝	海埂	呈贡	横冲	大河	华亭寺	海口	大板桥	松花坝	均值	
1988	673	709	600	572	729	868	664	670	850	704	2.8
1993	798	823	660	731	937	958	716	850	836	807	4.3
1994	1129	1024	998	1025	1064	1245	1010	940	1132	1083	7.1

表 1—10 各年型面源污染入湖量

项目 年份	水量 (万方)	SS (吨)	BOD ₅ (吨)	COD (吨)	总氮 (吨)	总磷 (吨)	水文年型
1988	28100	159600	909	2439	1468	204	P = 80% 枯
1992	25480	12940	916	2051	1363	194	P = 90% 特枯
1993	43130	181725	1412	2911	2249	312	P = 50% 偏枯
1994	70894	319370	2172	4677	3785	525	P < 20% 丰水

从表 1—9 和表 1—10 中可见,随着水文年型的不同,滇池面源污染物的入湖量年际间差异很大,特枯的 1992 年与丰水的 1994 年相比,1994 年入湖的总氮是 1992 年 2.7 倍,总磷是 1992 年的 2.8 倍,泥沙量大 2.6 倍。由于滇池水质受面源污染的影响很大,在丰水的 1994 年,滇池水质空前恶化,总氮的平均浓度由 1992 年的 1.75 毫克/升上升到 2.94 毫克/升,总磷的浓度由 0.144 毫克/升猛增到 0.22 毫克/升,COD 的浓度由 8.6 毫克/升上升为 11.3 毫克/升。在外海的观音山东部断面、观音山中部断面及海口断面,氮的浓度已出现极大值,达 5.8 毫克/升,比草海的浓度(3.3 毫克/升)要高 78%,磷的极大值已接近草海的平均浓度。藻类覆盖整个滇池水面,灰湾的藻量高达 17832 万个/升,为 1988 年藻量最大值的 8.0 倍。

进入滇池的面源污染物除与水文年型有关外,与流域的气象条件密切相关,滇池流域的降雨约 85%~90%集中在雨季,7、8 两个月又占全年雨量的 40%,面源污染物入湖量的时间分配与降雨时间分配趋势基本一致。据 1994 年的资料分析,6~10 月氮和磷进入滇池的量占全年总量的 77%和 96%,泥沙占年总量的 97%,COD 占年总量的 82%。按丰枯平三个水期分,丰水期氮、磷入湖占 65%和 66%,而枯水期仅占 17%和 18%。见表 1—11。

表 1—11 面源污染物各水期入湖量百分比

时期	1993 年						1994 年					
	TN	TP	BOD	COD	SS	水量	TN	TP	BOD	COD	SS	水量
枯水期	3.7	3.5	6.1	3.9	1.4	4.8	28.1	28.2	26.3	26.5	31.6	23.3
丰水期	86.9	90.4	77.9	81.3	97.5	77.1	67.5	68.8	68.4	66.3	68.4	66.3
平水期	9.4	6.1	16.0	14.8	1.1	18.1	4.4	3.1	8.8	6.7		10.4

在各种面源污染物的输入途径中,以河流输入的量最大,湖滨区次之。据 1994 年的资料,由河流输入的总氮、总磷量分别占面源污染物输入总量的 69%和 78%;湖滨区输入的总氮、总磷占 18%和 10%;由降雨和降尘输入的占 10%和 9%。见表 1—12。

表 1—12 1994 年各河流的面源污染物 (P=20%)

项 目	新河	西山散流	古城河	东大河	柴河	大河	捞 梁 鱼 王 河 河	洛龙河	马北宝 料沙象 河河河
水量(万方)	3474	4110	940	3794	5944	5512	5845	4230	6408
SS(吨)	6510	47816	2783	11571	35907	36554	28232	19839	44107
BOD ₅ (吨)	333	115	7	34	90	60	76	40	92
COD(吨)	837	305	16	60	203	158	148	101	187
TN(吨)	224	224	18	75	250	272	94	69	121
TP(吨)	16	18	4	17	131	25	23	14	15

滇池流域的面源污染以丰水年最为严重,枯水年面源输入的总氮占氮入湖量的 31.2%,磷占 44.9%,而丰水年面源输入的氮则占 50.4%,磷占 57.9%。见表 1—13。

表 1—13 各年型点、面源污染物所占的比例

年 份	TN		TP		COD		SS	
	点 源	面 源	点 源	面 源	点 源	面 源	点 源	面 源
1988 枯	68.8	31.2	55.1	44.9	88.3	11.7	7.9	92.1
1993 平	62.3	37.7	55.0	45.0	89.0	11.0	6.9	93.1
1994 丰	49.6	50.4	42.1	57.9	83.4	16.6	4.1	95.9