

滇池流域

“源”“汇”景观格局与非点源污染负荷研究

Study on Relationships between Source-Sink Landscape Pattern and Non-point Source Pollution Load in Dianchi Watershed

袁睿佳 著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS



环境科学前沿系列研究丛书

滇池流域

“源”“汇”景观格局与非点源污染负荷研究

Study on Relationships between Source-Sink Landscape Pattern
and Non-point Source Pollution Load in Dianchi Watershed

袁睿佳 著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

滇池流域“源”“汇”景观格局与非点源污染负荷研究/袁睿佳著. —北京:
中国科学技术出版社, 2012. 4
ISBN 978 - 7 - 5046 - 6055 - 8

I. ①滇… II. ①袁… III. ①滇池 - 湖泊污染 - 研究 IV. ①X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 058512 号

责任编辑 崔 玲 李 睿

责任校对 赵丽英

责任印制 张建农

封面设计 中文天地

出版发行 中国科学技术出版社

地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮 编 100081

发行电话 010 - 62173865

传 真 010 - 62179148

投稿电话 010 - 62176522

网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 889 mm × 1194 mm 1/16

字 数 200 千字

印 张 7

彩 插 8

版 次 2012 年 4 月第 1 版

印 次 2012 年 4 月第 1 次印刷

印 刷 北京长宁印刷有限公司

书 号 ISBN 978 - 7 - 5046 - 6055 - 8/X · 112

定 价 38.00 元

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

前言

滇池是我国第六大淡水湖,也是目前中国污染最严重的内陆淡水湖泊之一。非点源污染一直是滇池水环境恶化、湖泊富营养化和滇池水质下降的重要因素。长期以来,非点源污染研究中对污染物产生—输移—贡献的时空变动全过程考虑不够,且多停留在定性描述的层面,缺乏从宏观角度对非点源污染进行的定量研究。为了推进昆明市的建设和发展,2008年昆明市政府颁布了《昆明城市总体规划修编(2008—2020)》,这将不可避免地改变处于昆明市核心位置的滇池流域的景观格局,影响流域的非点源污染负荷。

本书以滇池流域非点源污染这一生态过程为研究对象,以景观生态学原理为指导,以“3S”技术为研究手段,以地质地貌和社会经济特征为分区依据,采用了分圈层与小流域相结合的独特划分方式对整个流域进行分区研究;运用景观空间负荷指数,对滇池流域湖滨、台地、山地3圈层的“源”、“汇”景观格局与非点源污染间的关系进行了定量研究。另外,通过滇池流域现状与昆明市总体规划(2008—2020)的景观空间负荷对比研究和评价,得出以下主要结论:

滇池流域为高原湖泊流域区,具有不对称的环状阶梯地貌格局,山地区面积占绝对优势(61.1%),台地区其次,湖滨区面积最小。流域东部和东南部(官渡、呈贡、晋宁)的山地区有坡度小于 15° 的地形连片分布。

滇池流域是一个以自然生态系统为主的区域,有林地是流域的景观基质。湖滨区地势平坦、水资源充足,受人为干扰最严重;台地区地势相对平缓,人为活动较频繁,具有景观破碎度与分离度高、蔓延度与斑块结合度低的景观格局特征,是流域中稳定性最差的圈层;山地区地势陡峭受人为干扰较小,依靠位于其中的庙宇和森林保存了较高的植被覆盖度,对流域的水源涵养和水土保持贡献极大。

滇池流域14个研究单元的42组面积累积百分比曲线分布状况显示:在相对高程和坡度两方面,3圈层中各土地利用类型尤其是人工景观类型,基本都倾向分布于各圈层中相对高程较低且地势较平坦的区域;在距离方面,则基本都均匀分布于各距离段中。

滇池流域湖滨区和台地区的8个研究单元对应3类空间要素(距离、相对高程、坡度)的24个景观空间负荷指数值均大于0.5,因此该8个研究单元均为“污染贡献型”景观格局。相反,山地区、西山散流区和松华坝水源地保护区的6个研究单元则均为“污染截留型”景观格局,即理论上它们向滇池水体排出的非点源污染物极少。

滇池流域各研究单元的景观空间负荷指数对比结果显示,3 圈层产生的非点源污染负荷大小按如下顺序排列:湖滨区>台地区>山地区。这与 2007 年云南省环保相关部门对滇池流域非点源污染负荷的统计结果完全一致,证实了景观空间负荷指数用于流域非点源污染研究的可靠性。

昆明城市总体规划在优先保护滇池流域自然风貌和关键生态系统结构、功能的前提下,以湖滨区和台地区为重点规划区,调整了各研究单元中“源”、“汇”景观的类型、比例和布局,增加了自然景观的优势度,强化了有林地作为景观基地的地位,增幅达 20.59%,大面积增加了具有“城市绿肺”和“绿色缓冲屏障”功能的有林地和湿地。

昆明城市总体规划使滇池流域湖滨区、台地区和西山散流区的景观空间负荷指数得到不同程度的下降,使以上各区的非点源污染负荷得到不同程度的控制,其中湖滨区的非点源污染防治效果最显著。山地区的景观空间负荷指数虽略有增长,但依旧小于 0.5,保持了现有的“污染截留型”格局,即理论上景观空间负荷指数增长后产生的非点源污染负荷依旧极少。从滇池流域景观空间负荷的变化来看,该规划是基本合理的。

本研究通过实例证明景观空间负荷指数是一个非常有价值的指数,具有跨尺度的功能,可以在流域内量化不同格局的土地利用类型在非点源污染产生过程中的贡献,使定量研究流域景观格局与生态过程的关系成为可能。该指数有着广泛的应用前景,可用于监控同一流域不同时段非点源污染负荷的变化;可用作量化标准比较不同流域的非点源污染负荷;还可在流域尺度内用做不同景观设计方案比选的科学依据和量化指标。

本书撰写过程中,得到了导师杨树华教授的悉心指导,也得到了王宝荣教授、姜汉桥教授、贺彬教授级高级工程师、段昌群教授、李晖教授、赵筱青教授、闫海忠老师、周睿老师、陀正阳处长、朱翔主任等专家的支持与帮助。同时,还得到了杨繁松、吴程、王孙高、刘宇、金玉、李怀霄、郦建锋、闫琳、谭志卫、尹雯、王兴宇、蔡建春等人的大力协助与支持。本书的出版得到了云南财经大学专著出版基金的资助。在此特向支持和帮助过本书撰写、出版工作的单位领导、专家和朋友一并表示衷心的感谢!

由于非点源污染研究涉及学科众多,内容庞杂,又受时间和作者水平所限,书中错误和不足之处在所难免,恳请专家、学者和读者批评指正!

作 者
2012 年 3 月于昆明

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 研究背景	(1)
第二节 研究目的和意义	(2)
第三节 国内外相关研究进展	(2)
第四节 研究总体思路	(5)
第二章 滇池流域概况	(7)
第一节 自然地理概况	(7)
第二节 社会经济概况	(10)
第三节 滇池流域非点源污染状况	(11)
第三章 景观空间负荷的相关理论与方法	(16)
第一节 “源”、“汇”景观的相关研究	(16)
第二节 景观空间负荷指数的产生及发展	(18)
第四章 基础数据处理与流域分区	(23)
第一节 基础数据处理	(23)
第二节 滇池流域分区	(26)
第三节 小结	(28)
第五章 滇池流域景观空间分异特征研究	(29)
第一节 景观空间分异特征相关研究方法	(29)
第二节 不同尺度分区后的流域构成	(31)
第三节 流域景观构成	(33)
第四节 流域各圈层景观格局指数分析	(43)
第五节 小结	(45)
第六章 滇池流域景观空间负荷研究	(47)
第一节 滇池流域景观空间负荷相关研究方法	(47)
第二节 流域各圈层面积累积百分比曲线分布状况	(50)
第三节 流域空间要素层面的景观空间负荷指数研究	(52)
第四节 流域景观空间负荷指数研究	(53)

第五节 小结	(55)
第七章 昆明城市总体规划的景观空间负荷评价	(57)
第一节 昆明城市总体规划的景观空间负荷评价方法	(57)
第二节 规划前后景观构成对比	(58)
第三节 规划前后景观空间分异特征对比	(59)
第四节 规划前后景观格局指数对比	(66)
第五节 规划前后景观空间负荷指数对比	(67)
第六节 小结	(69)
第八章 结论与讨论	(71)
第一节 主要结论	(71)
第二节 创新点	(74)
第三节 讨论	(74)
第四节 滇池流域非点源污染的防治建议	(76)
参考文献	(78)
附表	(82)
附图	(89)

第一章 绪 论

第一节 研究背景

水是生命之源,是基础性的自然资源和战略性的经济资源,是地球上一切生物赖以生存和发展的物质基础,是生态系统最活跃的控制性要素。目前我国正面临非常严峻的水污染问题。水污染已经同旱灾、洪灾被并列称为水灾害^[1-4]。随着经济迅速发展,人类往往过于关注自身社会经济发展需求,而忽略了水系统的空间要求,不断扩大土地利用范围,加深土地利用程度。水流在下垫面土层中的垂向和侧向运行路径受阻,干扰了流域中各种径流成分的生成过程和流域下垫面对降水的再分配过程,致使流域的空间水调节能力降低,滞洪能力减弱,从而加剧了水资源的时空分布不均,水质恶化,生物多样性与水资源安全降低^[5],使得与水有关的环境问题日益突出。水环境面临的严峻形势已引起了党中央、国务院的高度重视。1996年,八届人大四次会议通过的《国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要》将淮河、海河、辽河(简称“三河”)、太湖、巢湖、滇池(简称“三湖”)水污染防治列为国家“九五”期间重点污染防治工作^[6-8]。2007年6月,温家宝总理在无锡主持召开“三湖”水污染治理工作会议上指出:“三湖”治理中,滇池是难点。至此,滇池水体的严重污染已引起各级领导和社会各界的高度重视。滇池水污染防治已成为昆明市乃至云南省环保工作的重中之重。

滇池流域位于云南省政治、经济、文化中心,是云南省经济最发达、人口最集中、城市化水平最高的区域,在我国西南地区经济和社会发展中起着至关重要的作用。滇池流域面积2920km²,水体面积298km²,湖岸线长163.2km,平均水深4.4m,库容15.94亿立方米,具有工农业用水、调蓄、防洪、旅游、航运、水产养殖、调节气候等多种功能。

近30年来,随着滇池流域内经济发展和城市化进程的加快,非点源污染总量及其对滇池水体富营养化的贡献率呈整体上升趋势,滇池现已经全湖富营养化,污染严重。2005年草海水质为劣V类,综合营养指数76.1,属重度富营养状态;外海水质达V类地表水标准,综合营养指数62.5,属中度富营养化;29条主要入湖河道水质大多为劣V类。水环境污染与水资源短缺的双重压力使昆明的城市发展和城市功能提高受到了严重限制。滇池污染已成为昆明市可持续发展的重大制约因素。

2008年伊始,为加大滇池治理力度,贯彻落实《国务院办公厅加强重点湖泊水环境保护工作意见的通知》(国办发[2008]4号),昆明市委、市政府决定把滇池流域水环境综合治理摆到更重要、更突出的位置,继续贯彻“污染控制、生态修复、资源调配、监督管理、科技示范”的治理方针,以污染物减排为核心,提速滇池污染治理工作。其中,落实好国家水体污染控制与治理科技重大专项中的“滇池流域水污染治理及湖泊富营养化综合控制技术与示范项目”成为重要任务之一。本研究即为该重大水污染专题项目中“滇池流域面源污染调查与控制方案研究及工程示范课题”研究内容的一部分。

为推进昆明市的建设和发展,2008年昆明市政府颁布了《昆明城市总体规划修编(2008—2020)》,该规划明确指出调整优化产业结构、改善提升人居环境、始终坚持环保优先、加快推进城乡一体化是昆

明未来 12 年城市总体规划的目标,其中城市结构调整、功能完善、质量提高和环境改善是新规划的重点,正确把握环境资源保护与社会经济发展的关系是城市总体规划的关键。因此,分析、评价该总体规划对滇池流域空间格局和非点源污染的影响显得十分必要。

第二节 研究目的和意义

对于滇池这样封闭于高原山间盆地的湖泊体系,非点源污染一直是滇池水体富营养化的重要驱动力。非点源污染具有多源、分散、复杂、不确定等特征,特别是在滇池流域工业点源污染和昆明城区生活点源污染受到全面而有效的控制、治理后,流域内非点源污染对水环境的恶化作用已成为流域生态环境质量下降的顽疾。

为保障滇池流域社会、经济的可持续发展,需要从流域系统整体出发,通过流域的空间规划和管理措施,规范流域水空间管理,实现流域的水土联合管理。然而长期以来,非点源污染负荷的削减和控制大多仅关注于污染源自身的削减,对污染物产生—输移—贡献的时空变动全过程的综合考虑不够系统全面,绝大多数研究停留在推断和定性描述的层面,缺乏从宏观层面对非点源污染的定量研究。

本研究将景观空间格局分析与生态过程紧密结合,通过定量研究滇池流域的景观空间分异特征和景观空间负荷,达到揭示流域中各土地利用类型空间格局与非点源污染负荷关系的目的;通过对比昆明城市总体规划(2008—2020 年)前、后景观格局与景观空间负荷的变化,达到评价规划的目的;同时,从景观生态学的宏观角度,针对滇池流域各分区的特点提出有科学性和指导性的建议与意见,以期滇池流域的非点源污染物能够在进入水体前,在空间尺度上,达到最大程度的平衡,减少入湖污染负荷,加速恢复滇池水体自净能力,以达到治理滇池流域非点源污染和控制水体富营养化的目的。

综上所述,本研究为滇池流域的科学规划和系统建设提供了一定的决策依据,对提高滇池流域水环境质量,实现流域生态环境可持续发展,全面实现昆明市小康社会目标具有重要的研究意义。从非点源污染的景观空间负荷的角度,为其他类似流域的水污染研究、防治和水资源管理工作将起到一定的示范作用和借鉴意义,为流域规划方案的比选提供一套新的思路和量化指标。

第三节 国内外相关研究进展

一、景观格局研究进展

(一) 景观格局的研究内容

景观生态学的研究内容主要划分为三大部分:景观结构(空间格局)、景观过程(景观功能)及景观变化(景观动态)。对以上三种研究专题分类统计的结果表明,我国的景观生态学者针对景观格局的研究较为火热,现有文献中有 169 篇是研究景观空间格局的;相比之下,对其他两方面的研究较少,其中针对景观生态过程和景观功能的研究最为薄弱,仅占总文献的 12.8%^[9]。

景观格局是指大小和形状不一的景观斑块(嵌块体)在景观空间的排列。景观格局是景观异质性的具体表现;同时又是包括干扰在内的各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[10]。研究景观格局的目的是在似乎是无序的嵌块体镶嵌景观上,发现有潜在意义的规律性^[11]。通过景观格局的分析,确定产

生和控制空间格局的因子和机制^[12];比较不同景观的空间格局及其效应^[13];探讨空间格局的尺度性质^[14]。

(二) 景观格局的研究进展

景观格局是生态学家研究最多的课题之一,早在 20 世纪 50 年代就进行了大量的描述性研究^[15],但数量化研究于 70 年代才逐渐得到重视,随着对景观格局研究的不断深入,近年来景观格局数量研究有了重大发展,出现了大量的数量化方法^[16,17],提出了不少关于景观空间分析的指标和方法^[16,18-26],其中景观指数方法在景观结构的描述、比较和动态研究中应用越来越广泛^[27,28]。景观指数是指能够高度概括景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某方面特征的简单定量指标,已成为定量研究景观格局和动态变化的主要方法之一^[29,30]。现在普遍采用的景观格局指数,如多样性、优势度、破碎度及分维数等的计算都采用 O'Neill 提出的方法^[18,31,32]。景观生态学现正处在蓬勃发展的新阶段,景观格局研究也越来越受到人们的重视^[33-36]。

二、非点源污染控制研究进展

非点源污染与点源污染相对应,是指溶解的或固体污染物从非特定的地点,在降雨径流的淋溶和冲刷作用下,从非特定地点通过地表径流和地下渗流过程,汇入受纳水体(如河流、湖泊、水库、海湾等),而引起的水体污染^[37-39]。非点源污染的形成不仅受到地表物质来源、土壤侵蚀过程、降雨过程、灌溉过程、地表和地下水文过程的影响,同时还受到景观格局的影响。

非点源污染的总效应是多方面的,给区域生态环境和人类健康带来了严重危害。一方面,非点源污染不仅污染饮用水,还造成地表水的富营养化和地下水污染,破坏水生生物的生存环境,引起生物量的减少或消失。另一方面,非点源污染的主要来源——水土流失可冲走大量表土,使土层变薄,土壤贫瘠沙化,肥力下降,给农业生产带来不利影响,并破坏水土结构、道路和沟渠。同时,冲至下游的泥沙可破坏鱼类和其他野生生物的繁衍地,还将导致河床抬高,引起更大的洪水泛滥以及水库淤积速度加快等。

因此,充分地利用现有的理论、方法及模型,科学地分析流域非点源污染的影响因素、污染迁移、转化规律,寻求有效地控制非点源污染的措施与最佳管理模式是当今非点源污染研究的主要任务。

(一) 非点源污染国外研究进展

国际上对非点源污染的研究大致始于 20 世纪 60 年代,70 年代起进行系统研究。20 世纪 70 年代,美国颁布了一系列法规,要求评价非点源污染对水质的影响。1972 年,美国开始实施水清洁法 PL92-500,首次认识到点源污染的控制并不能解决美国所有水质的问题,该法制定颁布了一个土地利用计划,建立了一个强制执行的配套计划,并提出了对非点源污染进行控制的要求^[40],由此开始对非点源污染问题进行广泛研究,并付诸管理实践。在此期间,美国和加拿大对整个五大湖地区进行了点源与非点源污染的调查研究,在理论和方法上均已取得进步,促进了水环境污染的控制与管理。这一时期,非点源污染研究主要集中在非点源污染特征、影响因素、单场暴雨和长期平均污染负荷输出等方面的初步认识研究。

20 世纪 70 年代中后期,非点源污染研究有了很大的发展,影响因素和宏观特征研究由相关因素分析和时空分异特征分析转向与非点源污染控制密切相关的主控因子和源区^[41]即危险区域的空间分析^[42],有关非点源污染物的迁移^[43]和转化研究也有了初步进展。同时,开始使用数学模型对农业污染水质的现状进行定量评价,并对由生产条件改变引起的水质变化程度进行预测。径流与水质的对接方法^[44]开始被探讨。

20 世纪 80 年代,非点源污染基础研究地域范围广、类型多样,污染物迁移机理的研究更加深入,在非点源污染的负荷计算、控制措施、效果评价、营养元素在土壤及地表的迁移规律研究和非点源的管理、政策的制定方面,一些非点源污染扩散与负荷的模型得以提出,例如:著名的农业管理系统中的化学污染物径流负荷和流失模型(CREAM)^[45]、用于农业非点源管理和政策制定的农业非点源污染模型(AGNPS)^[46]、农田尺度的水侵蚀预测预报模型(WEPP)^[47]、流域非点源污染模拟模型(ANSWERS)^[48]。在建立新的应用型模型的基础上,非点源污染模型重点加强了“3S”技术(RS、GPS、GIS)在非点源污染定量负荷计算、管理和规划中的应用研究。以陆地卫星数据库^[49]、航空摄影^[50]、GIS^[51]和陆地资源信息系统^[52]为代表的“3S”技术与非点源污染模型结合,并广泛用于非点源污染预测和管理措施改变对农业非点源污染的影响评价。这一时期 GIS 研究与应用的突出成果是专业 GIS 软件开发并用于潜在非点源污染的三维图形输出^[53]。

GIS 的应用推进了非点源污染的定量化研究。环境模型是对环境问题和环境过程的数字描述,不仅是辨识水质污染问题地区的有效工具,而且可预测与社会经济相关的不同范围的环境问题。因此,利用环境模型对非点源污染问题进行模拟研究成为广泛使用的方法之一。然而非点源污染研究(包括模型研究)需要在流域等地理空间背景下进行,涉及诸多环境要素及空间数据,如流域的土地利用、土壤类型、水系分布等,通过模型来描述环境问题,在其应用中受到了诸如空间数据操作困难、模拟精度不高等许多限制。而 GIS 是一种以具有地理属性的空间为研究对象,以空间数据为核心,能够采集空间信息并适时提供空间上的动态资源和环境信息的技术,具有较强和较准确的数据处理功能,它能利用其强大的空间分析和空间数据管理能力克服环境模型应用中的种种困难,从而成为非点源污染研究的有效辅助工具。GIS 技术与非点源污染模型的集成相得益彰,为非点源污染的定量化研究提供了广阔的前景^[54-56]。GIS 处理非点源污染有以下优点:①数据动态更新快,易实现数据共享,结果显示形象直观;②易于比例间的转化,能对海量数据进行分析;③能够通过空间分析与统计,方便地确定各参数的空间分布及参数间的空间相关性^[57,58]。

进入 20 世纪 90 年代,非点源污染的研究更加活跃,与非点源污染控制相关影响因子的研究层出不穷。细菌、病毒等微生物与毒性污染物,尤其是大气挥发性有机物(VOCs),成为备受关注的新非点源污染物;地下水的反补给也被列为地表水源的重要非点源污染,探讨不同种类、来源、迁移转化机制的污染物对地表、地下水体的影响^[59,60]与非点源污染负荷估算相关的流域开发方向、管理模型和风险评价^[61]成为本时期应用模型研究的最新突破点;GRASSGIS、ARC/INFO 与 WEPP、AGNPS、USLE 的结合进一步用于识别非点源污染危险区域^[62],显示多种非点源污染输出结果,绘制水源防护区范围^[63]和设计地表水监测网等众多方面;计算机软件的开发——混合专家系统^[64]与多语种非点源污染模型软件^[65]的出现为非点源污染的研究和控制提供了前所未有的方便。

目前,非点源污染问题已引起许多国家的重视。美国是开展研究并实施控制措施最多的国家,加拿大、英国、澳大利亚、德国等国也做了大量工作^[66-71]。日本、瑞典、匈牙利、荷兰、爱沙尼亚、土耳其等很多国家也开始重视^[72,73]。此外,非点源污染研究早在 20 世纪 80 年代便得到了国际学术界的重视,有关研究成果早已发表于 Nature^[74]和 Science^[75]。

(二) 非点源污染国内研究进展

我国非点源污染研究始于 20 世纪 80 年代,80 年代开展的我国湖泊富营养化调查标志着我国非点源污染研究的开始^[76]。但由于起步较晚,加之与点源污染相比,非点源污染自身固有起源广泛、随机性强、成因复杂、潜伏周期长、滞后性和模糊性等特征^[39],我国非点源污染的治理与控制一直颇为困难。

1980—1990 年我国的非点源污染研究局限于农业非点源和城区径流污染的宏观特征与污染负荷定量计算模型的初步研究。基于受纳水体水质分析,计算汇水区农业非点源污染输出量的经验统计模型在这一时期发展较快并被广泛应用^[77];城区径流污染负荷模拟模型主要从径流量与污染负荷的相

关^[78]、单位线^[79]、地表物质累积规律^[80]三个角度进行研究;通用土壤流失方程首次在我国用于非点源污染的危险区域识别研究^[81]。该时期开展的有代表性的工作主要有:①1983年天津引滦入津工程环境影响评价中首次监测了三场暴雨洪水的水质、水量同步过程,并建立了水质、水量关系;②国家“六五”攻关项目,在四川沱江设立小区进行监测,并进行了小区模拟,同时在苏州水网城市的非点源污染监测中建立了单位线类模型;③“七五”攻关项目,云南滇池流域、巢湖、太湖的非点源污染研究在监测的基础上建立了统计类负荷模型,提出了初步控制措施与对策。

进入20世纪90年代,我国的非点源污染研究更加活跃。农药、化肥污染的宏观特征、影响因素研究和黑箱经验统计模式在农业非点源污染研究中占重要席位。分雨强计算城区污染负荷^[82]为城市径流污染负荷定量计算提供了新方法。将农业、城市非点源污染负荷模型与“3S”技术、水质模型结合^[83,84]用于流域水质管理,成为了农业、城市非点源污染研究的新增长点。油田开发区石油污染^[85]、生物污染、大气沉降^[86]等非点源污染研究也有了一定进展。这一时期的首要成就当推李怀恩等人的机理型流域暴雨径流响应模型^[87],它要求参数少,应用范围广,适合我国目前资料短缺的非点源污染研究现状,但其应用、推广有待接受后期检验。

近年来,非点源污染问题日益得到重视,有越来越多的单位和人员投入其中。云南滇池流域非点源污染防治和武汉城市水环境综合整治,这两个项目具有显著代表性。在非点源污染控制与管理方面我国也开展了一些工作,主要是结合湖泊富营养化防治与大型城市地表饮用水源的保护等方面进行了研究,如:云南滇池(前置库、种植水葫芦等)、安徽巢湖(多水塘系统等)、城市地表饮用水源保护(植被过滤带、人口迁移、土地利用结构调整、保护区划分等多种措施)。但由于缺乏有针对性的治理手段和管理措施,政策性的量化研究仍属空白,相关的非点源污染管理和控制措施零散,未能形成完整体系。

(三) 非点源污染研究难点及发展趋势

人类对土地的利用方式是非点源污染产生的主要因素。土地利用是人类活动最直接的表现形式,不同的土地利用活动和管理模式将导致不同程度的土壤侵蚀以及营养物随地表径流的流失,从而对流域产生不同程度的非点源污染影响。国内外大量资料表明,土地利用类型对流域水体质量有强烈影响,任何人类在集水区的活动,若是未在适宜的保育措施下进行,都将可能对集水区产生非点源污染。

鉴于非点源污染形成的不确定因子较多,过程复杂多变,空间上具有广域性,时间上又具有瞬时性,非点源污染一直是水污染防治工作中重大技术与工程的挑战。现有的非点源污染模型往往是模拟客观条件下非点源污染物在空间的传输迁移过程,及其在空间上可能的分布特征,前提条件是假设一些影响因子在非点源污染形成过程中处于不变状态。实际上,由不同地形、土壤、植被和人类活动共同组成的复杂景观中,各生态因子时刻发生着变化,由此导致系统中的物质流和能量流复杂多变。因此,在如此复杂的景观中,模拟研究养分元素的时空运移过程将十分困难^[88]。

第四节 研究总体思路

本研究的总体思路如图1-1所示:应用景观生态学的理论和方法,以滇池流域为研究范围,以水系为依托,以“3S”技术为研究手段,以滇池流域的非点源污染这一生态过程为研究对象,以独特的分区方法确定各基本研究单元,通过遥感影像解译获取滇池流域土地利用现状数据;并以此为基础,对滇池流域景观空间分异特征进行分析;另外,分别从距离、相对高度和坡度三类空间要素的角度,运用衡量景观空间分布格局与非点源污染的综合方法——景观空间负荷指数法^[89],对滇池流域的景观空间负荷进行研究;再进一步通过对比滇池流域所覆盖昆明城区现状与总体规划后的景观格局和景观空间负荷两方

面的变化,对昆明城市总体规划(2008—2020)中的景观空间负荷进行评价;最后,针对滇池流域非点源污染的防治提出建议。

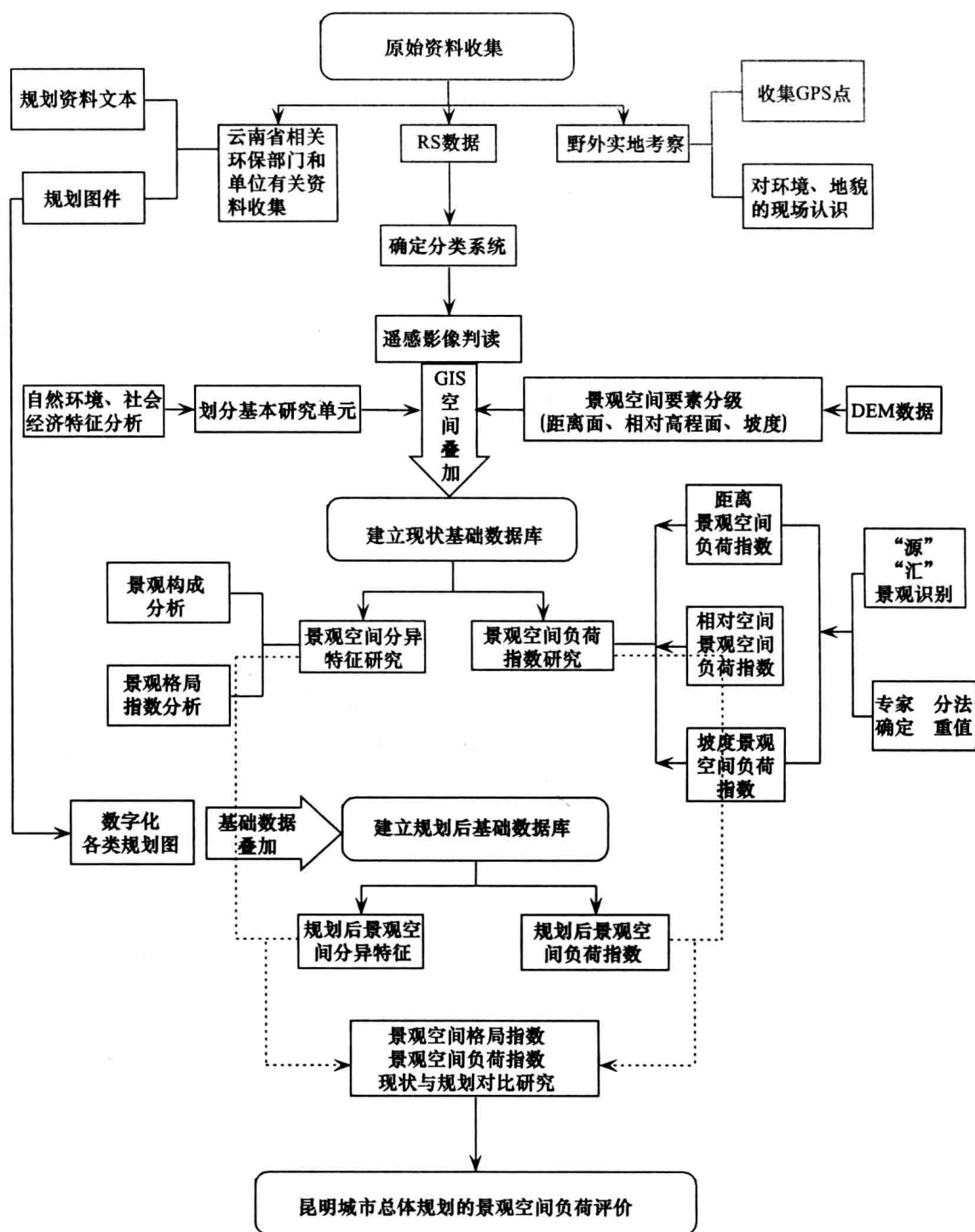


图 1-1 研究技术路线图

第二章 滇池流域概况

第一节 自然地理概况

一、地理位置

滇池流域位于云贵高原中部,属长江流域金沙江水系,地处长江、珠江和红河三大水系分水岭地带。滇池流域位于东经 $102^{\circ}29' \sim 103^{\circ}01'$,北纬 $24^{\circ}29' \sim 25^{\circ}28'$,南北长约 109km,东西宽约 52km。综合自然区划中,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。

滇池水体呈由北向东方向延伸的弓形,弓背向东,南北最长为 40km(含草海),东西最宽为 12.9km,湖岸长 163.2km,水面高程 1887.5m,滇池湖面面积约 298km^2 ,蓄水 15.94 亿 m^3 ,平均水位 1885m,平均水深 4.4m,最大深度为 10.24m,为典型的浅水湖泊。滇池水体包括“草海”和“外海”两部分,由滇池北部的天然堤坎——海埂分割,中间仅以一航道相通,北部草海较浅,只有 1m 多深,湖面面积约 11km^2 ,占湖面总面积的 2.7%,容积为 1.18 亿 m^3 ,”外海”是滇池的主体部分,占湖面总面积的 97.3%。

二、地形

滇池形成于 7000 万年前,是一个错断陷落的构造湖,由于构造作用不均,高原面上有相对隆起的山丘,有海拔较低的湖积平原及湖泊,又因受到河流切割及地下水的溶蚀侵蚀,形成了多种小地貌类型。总体来说,滇池流域是一个南北向狭长、东西向宽,受南北向断裂控制的新生代断陷高原盆地。其地形西高东低,北高南低,四面环山,中间为坝子和湖泊,流域内最高海拔为 2840m(嵩明县的梁王山),最低海拔为 1885m(湖水线)。滇池流域因受地势的影响,土壤垂直分异规律十分明显,形成一个大致以滇池水体为中心,南、北、东三面宽,西面窄的不对称环状、四级阶梯状地貌格局(附图 1 滇池流域 DEM 图),即从内向外,由低到高分别由滇池水体、湖滨带、台地和山地组成。

三、气候

滇池流域属北亚热带湿润季风气候区,兼具低纬、季风、山原的气候特点。在低纬度、高海拔地理条件综合影响下,受季风气候制约,形成了域内四季温差小、干湿季分明、垂直变异显著的低纬山原季风气候。气候的变化主要受西南季风和热带大陆气团交替控制。冬暖夏凉,冬无严寒,夏无酷暑,气温年较差小,日夜温差相对较大,干湿季变化显著,年平均气温 14.7°C ,最热月平均气温 19.7°C ,最冷月平均气温 7.5°C ,极端最高气温 31.5°C ,极端最低温 -7.8°C 。

年平均降雨量 797 ~ 1007mm,年平均蒸发量 1870 ~ 2120mm,年平均相对湿度 73% ~ 74%,年降雨量范围为 797 ~ 1035mm。年平均降水日数 135 天,年内降水分布极不均匀,近 80% 集中在 5 ~ 10 月,其

中 6~8 月雨量最多,每月平均雨日 20 天左右,每月雨量常达 150~200mm,约占年总雨量的 60%,至使冬干、夏湿,干湿季分明。受地形影响,山地降雨量相对较多,温度稍低,坝区降雨量相对较少,北部和西部降雨相对较多,东部降雨相对较少。

全年日照时数 2081~2470h,日照率 47%~56%, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 4200~4500 $^{\circ}\text{C}$,年无霜期达 227 天。主导风向为西南风,频率为 18%,年平均风速 2.2~3.0m/s,春季风大,可达 4~5 级。

四、水文

滇池流域地处低纬度高海拔地区,立体气候明显,干湿分明,降水量随海拔高程变化,高山地区降雨量较大,以东部、东北部和南部山区降水量较多,河谷、坝区及湖面降水量较少。

流域水资源十分贫乏,水资源在地区和时间上分布不均匀。汛期(5~10 月)降水集中,枯期(11~次年 4 月)降水较少,水资源量仅占全年的 20%。流域水资源存在着连续丰水和连续枯水的长周期变化特点。

湖泊多年平均入湖水量 6.7 亿 m^3 ,多年平均出湖水量 4.17 亿 m^3 ;湖面多年平均蒸发量 3.97 亿 m^3 ,多年平均亏水量 1.3 亿 m^3 。流域水资源量的年际变化较大,丰水年与枯水年水量悬殊,最大水资源量 12.02 亿 m^3 (1999 年),最小水资源量 0.47 亿 m^3 。水资源分配的不均加剧了滇池流域的缺水形势。

进入滇池的主要河流有 29 条,多发源于流域北部、东部和南部的山地以及滇池上游的松华坝水库和其他几个大中型水库。其中,流入草海的河流共有 7 条,流入外海的河流共计 22 条。进入滇池的主要河流中集水区面积大于 100 km^2 的有 10 条:盘龙江、宝象河、大河、柴河、东大河、洛龙河、西白沙河、捞鱼河、南冲河、新河(图 2-1)。各主要入湖河流特征和水资源状况见表 2-1。

盘龙江为流域内流域面积最大、最长的河流,全长 105km,流域面积 847 km^2 。此外还有新河、运梁河、船房河等纳污河流,这些河流的总长度约 347.18km,从北、东、南三面注入滇池。松华坝水库是流域内第一大水域,位于昆明市北郊,离市区约 20km,库容量为 6832 万 m^3 ,水库供应着昆明市 85% 左右的民用水和部分工业用水,是昆明市城区居民用水的主要水源。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,安宁螳螂川,再流过富民、武定、禄劝普渡河,流经巧家县境流入金沙江,下游是长江。

表 2-1 滇池流域主要入湖河流状况

河流名称	长度 (km)	流域面积 (km^2)	平均降水深 (mm)	平均降水量 (亿 m^3)	平均径流深 (mm)	年径流量 (亿 m^3)
盘龙江	95	903	947.1	8.7961	289.5	2.6141
宝象河	50	344	869.2	2.9900	219.5	0.7551
大河		171	902.9	1.5440	239.6	0.4098
柴河	43	415	872.9	2.6711	220.0	0.6733
东大河	28	195	877.5	1.7111	238.8	0.5656
洛龙河	13.7	116	809.0	1.1892	163.0	0.2396
西白沙河	21	118				0.2785
捞鱼河	28	128	853.3	1.0839	199.3	0.2531
南冲河	25	105	855.6	0.5561	195.7	0.1272
新河		106	1025.3	1.0868	337.0	0.3572
陆地小计	-	2600	893.1	23.2217	247.1	6.4237
滇池湖面	-	320	947.5	3.0320	-471.9	-1.5100
滇池流域	-	2920	899.1	26.3537	168.5	4.9200

资料来源:2008 年滇池流域水环境综合治理方案。

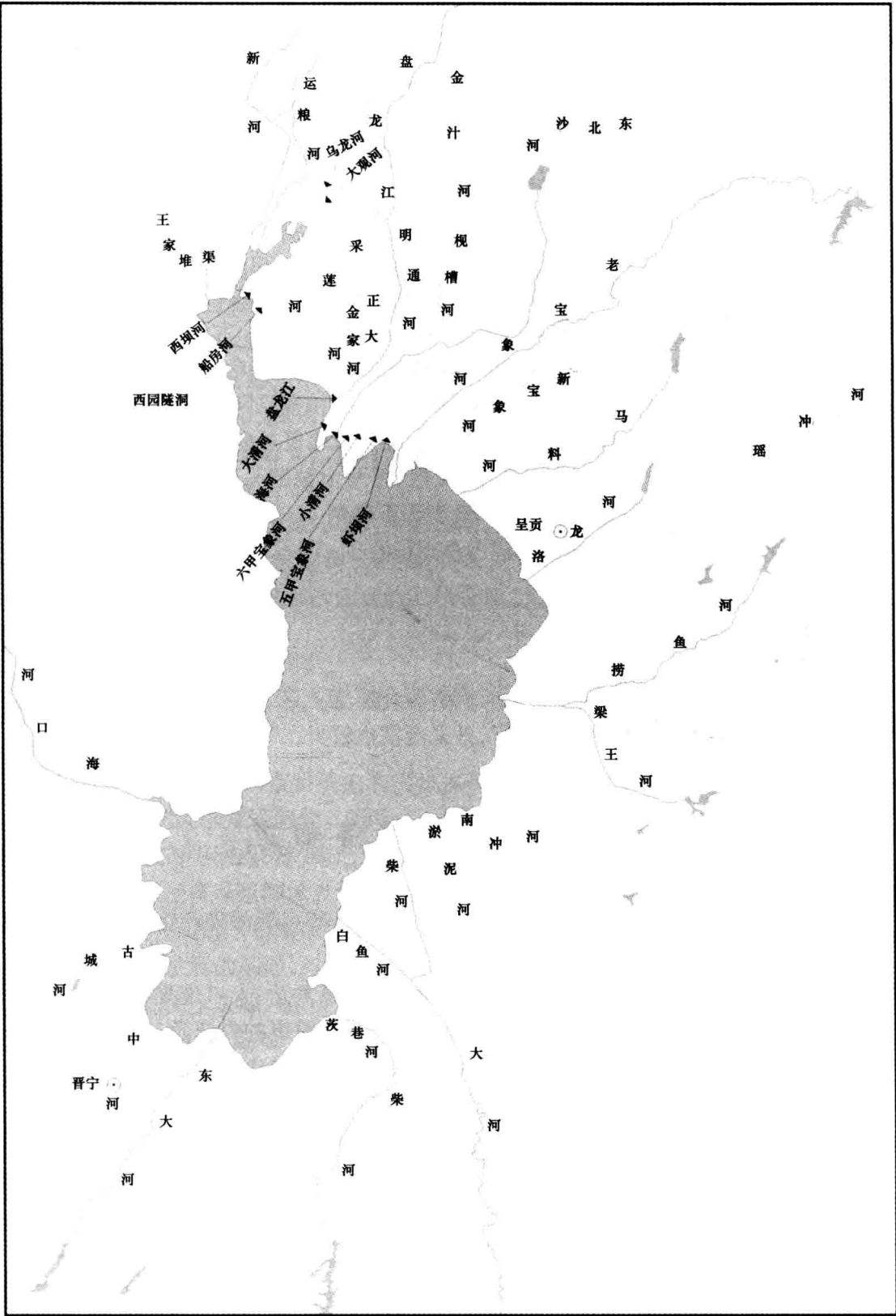


图 2-1 滇池流域主要河流水系示意图

五、土壤

滇池流域的地带性土壤为山原红壤,垂直地带性土壤由上而下为棕壤、黄棕壤、红壤。隐域性土壤

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,红壤占全流域土壤总面积的 73.8%,广泛分布于全流域。水稻土占 14.6%,多分布于湖滨带,紫色土占 7%,多分布于流域南部^[90]。

滇池汇水区分布的母岩,多见为页岩、砂岩、玄武岩、石灰岩和残积古红土。土壤主要是由石灰岩、玄武岩风化而形成的红壤,其次是页岩、砂岩风化而形成的紫色土及羊肝土、砂土等^[91]。

六、植被

滇池流域地带性植被为典型的亚热带半湿润常绿阔叶林,主要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。由于长期不合理的农业垦殖和樵采、放牧等人为活动的影响,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,在交通不便利的偏远山地亦有分布外,原生植被已所剩不多。现状植被主要为次生植被类型,以云南松林、华山松林及稀树灌草丛面积最大,有林地覆盖率仅为 23.38%。据有关部门统计,滇池流域内(指自观音山经西山、筇竹寺、蛇山、金殿、呼马山至跑马山,面积约 136km²),1953 年实地调查有林地占流域总面积的 59%,1959 年有林地面积下降到 22.2%,1982 年实地调查,有林地仅占总面积的 16.5%,1998 年实地调查,有林地面积占总面积的 24.3%^[91]。

七、矿产资源

滇池流域南部,磷矿资源储量巨大,已建成云南省磷化工工业区。滇池盆地周围,工业和建材用石料、风化石英砂以及工业用黏土资源也十分丰富,开采规模也较大。

第二节 社会经济概况

流域社会经济状况反映了人类的活动类型、强度和特征,是非点源污染产生的驱动力,也是制定非点源污染控制政策和技术方案的前提条件。

滇池流域是云南省的政治、经济、文化中心,是云南省经济最发达、人口最集中、城市化水平最高的区域,其农业及工业总产值分别占全市的 78.9% 和 82.2%,而昆明市的农业及工业总产值分别占全省的 32% 和 44%。滇池环境急剧恶化的阶段,正好是昆明市工业化、城市化、市场化迅速发展的阶段,强烈的发展愿望使得 2920km² 的滇池流域承载着过重的生态负担^[91]。

一、人口与行政区划

滇池流域在行政区划中隶属于昆明市,全流域覆盖了昆明市五华、盘龙、官渡、西山四个主城区,呈贡县、晋宁县的大部分区域以及部分嵩明县。2007 年,流域内人口 283.18 万人,占全市的 45.7%,城镇化率超过 80.5%。其中,主城区人口 203.35 万人,占流域总人口的 71.81%。滇池流域平均人口密度为 969.79 人/km²。

1997—2007 年,滇池流域人口总数呈现上升趋势。流域总人口由 241.83 万升至 283.18 万;总人口密度亦呈上升趋势,由 828.18 人/km² 升至 969.79 人/km²。2007 年各区县的人口数量关系为:五华区 > 官渡区 > 盘龙区 > 西山区 > 晋宁县 > 呈贡县 > 嵩明县;人口密度关系为:五华区 > 盘龙区 > 官渡区 > 西山区 > 呈贡县 > 晋宁县 > 嵩明县。

2004 年行政区划调整后,五华、盘龙两区面积明显增大,分别调至 398km² 和 340km²;西山、官渡两