



Land Use Characterization,
Its Influence on the
Water Eutrophication

土地利用特征刻画及其对 水体富营养化的影响

许尔琪 著



科学出版社

土地利用特征刻画及其对 水体富营养化的影响

许尔琪 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

全书通过定量刻画土地利用系列特征,研究其对水体富营养化的影响,以密云水库上游流域为研究区,综合应用遥感、地信、地统计学、理化分析等方法,以生态水文过程为线索,挖掘土地利用强度、所处坡度、距离河道及水质监测断面距离以及相互邻接关系等空间信息,揭示土地利用各组分信息与水体中污染物浓度的定量关系,阐明土地利用信息刻画及其管理对水体富营养化控制的作用和意义。

本书可供土地利用、水体污染、生态水文、自然地理和遥感地信等专业方向的科研和教学人员参考,亦可作为科研院所和高等院校相关专业的教学参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

土地利用特征刻画及其对水体富营养化的影响 / 许尔琪著. —北京: 科学出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-03-051210-9

I. ①土… II. ①许… III. ①土地利用-影响-水体-富营养化-研究 IV. ①X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 321871 号

责任编辑: 李 敏 杨逢渤 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 1 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2017 年 1 月第一次印刷 印张: 9 3/4

字数: 300 000

定价: 80.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

日益严重的水质污染严重威胁人类的健康与生存,水体富营养化是其中的一大治理难题。由于其污染的随机性和广泛性,亟须从区域尺度进行宏观规划和设计以控制水质污染。土地利用作为人类活动的综合表征,影响着一系列的生态水文过程,因而与水体中污染物浓度密切相关。能否正确认识土地利用对水体富营养化的影响,如何定量刻画两者的关系,成为流域土地利用综合管理的关键。通过厘定土地利用对水体中污染物的影响,才能有效进行土地利用管理,控制水体富营养化,提高水体质量。

人类通过对与土地有关的自然资源利用,改变地球陆地表面的覆被状况,影响着水体污染物的产汇流过程和生物化学过程。尽管国内外学者已对两者的关系开展了大量的研究工作,且取得了较多的成果,但取得的结论不尽相同,且存在一定的不确定性。主要难点在于对土地利用空间信息刻画相对不足,以往研究较多关注的是土地利用数量结构,造成单纯采用土地利用比例的研究对水质污染的解释程度不尽相同,从而影响了对其关系的理解,更导致对水质污染的管理和控制存在偏差。因此,全面刻画土地利用特征,有助于提高对土地利用和水体富营养化关系的理解。

针对上述存在的问题和难点,在中国科学院、中国工程院和科技部有关项目的资助下,本书以密云水库上游流域为研究区,以空间信息作为切入点,以水体污染物的产生、迁移、转化等的生态水文过程为线索,通过野外定位监测采样分析、社会经济数据调查和遥感数据反演,深入挖掘和刻画影响水体营养物的土地利用强度、所处坡度、距离河道及水质监测断面距离以及相互邻接关系等空间信息,系统进行土地利用对水体富营养化

影响的研究,揭示土地利用各组分信息与水体中污染物浓度的关系。旨在通过定量化关系,辅助指导密云水库上游流域土地利用的数量、强度和空间分布等管理和调整,为有效控制和管理密云水库上游流域水体富营养化提供科学依据。

在内容方面,本书共7章。第1章为绪论,综合国内外有关文献,介绍本书的研究背景、研究意义和国内外研究现状,指出土地利用与水体富营养化关系研究的主要思路;第2章介绍主要的数据来源和方法,包括多数据源获取手段,空间分析技术和多元统计等方法;第3章基于野外定位监测采样和室内分析,应用统计方法分析密云水库上游流域地表径流营养物浓度的时空变异特征;第4章基于水质分析结果、遥感影像制图和乡镇统计数据,介绍土地利用强度的量化和空间化的表达方法,探讨土地利用数量比例和强度空间差异对水体中营养物输出的影响;第5章主要介绍土地利用空间分布信息的提取和量化方法,探讨土地利用空间信息对营养物浓度的影响;第6章基于土地利用各组分信息,模拟地表径流营养物浓度,探讨水体富营养化管理和调控的主要措施;第7章是结论与展望。

中国科学院地理科学与资源研究所石玉林院士和张红旗研究员对本书的写作给予细致而悉心的指导和建议,在此表示崇高的敬意和衷心的感谢。

希望本书的出版为土地利用多组分特征刻画提供理论指导和案例研究,也希望能够为地理学、景观生态学和环境科学等学科的交叉发展提供参考,进一步丰富土地利用特征和水体富营养化研究的理论和方法。关于土地系统的研究十分庞杂,限于作者的水平和时间,书中难免有不足之处,敬请读者批评赐教。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 土地利用与水体富营养化关系研究背景	1
1.2 基于模型模拟的水质污染研究	4
1.3 土地利用对水质污染的影响研究	7
1.4 国内土地利用对水质污染的影响研究	14
1.5 研究思路与框架	16
第2章 数据来源及研究方法	19
2.1 密云水库上游流域概况	19
2.2 数据来源及处理平台	22
2.3 研究方法	23
第3章 流域地表径流营养物浓度的时空变异特征	32
3.1 地表径流营养物的基本统计特征描述	32
3.2 子流域地表径流营养物浓度空间独立性检验	36
3.3 流域地表径流营养物浓度时空变异分析	39
3.4 流域水体营养化水平综合评价	47
第4章 土地利用输出源强对地表径流营养物浓度的影响	52
4.1 土地利用强度空间表达思路	52
4.2 土地利用比例对地表径流营养物浓度的影响	61
4.3 土地利用强度对地表径流营养物浓度的影响	66
4.4 土地利用输出源强对水体富营养的解释能力	76

第5章 土地利用空间分布对地表径流营养物浓度的影响	77
5.1 土地利用空间分布量化思路	77
5.2 土地利用坡度对地表径流营养物浓度的影响	86
5.3 土地利用距离对地表径流营养物浓度的影响	89
5.4 土地利用邻接关系对地表径流营养物浓度的影响	100
5.5 土地利用空间信息对水体富营养化的解释能力	106
第6章 地表径流营养物浓度模拟与优化调控	108
6.1 多组分土地利用信息与地表径流营养物浓度关系 模拟思路	108
6.2 营养物浓度模拟结果	111
6.3 水体富营养化调控的关键子流域识别	113
6.4 水体富营养化调控的合理河岸带确定	115
6.5 水体富营养化控制和调控措施建议	124
6.6 土地利用信息提取与管理对水体富营养化控制的应用	126
第7章 结论与展望	127
7.1 土地利用特征刻画及其与水体富营养化的关系	127
7.2 未来研究方向和展望	130
参考文献	132

第1章 绪 论

1.1 土地利用与水体富营养化关系研究背景

国际全球环境变化人类行为计划和国际地圈-生物圈计划的共同执行计划——土地利用/土地覆盖变化 (land use and land cover change, LUCC) (Lambin et al., 1999) 及后续计划——全球土地计划 (global land project, GLP) (Ojima et al., 2005) 的实施, 极大地促进了土地科学相关研究的发展。LUCC 是人类活动和自然要素共同作用的结果, 联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)、联合国环境规划署亚太地区环境评价计划 (UNEP/EAP-AP)、联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 等都确立了与“LUCC 科学研究计划”相应的研究项目, 成为全球变化研究的热点领域 (Turner, 1991, 1994)。LUCC 研究的基本目的是深入理解 LUCC 在区域尺度上的相互作用及其规律, 对全球的土地变化进行观测、监测和预测, 揭示 LUCC 变化过程中各要素的相互作用机理, 阐明 LUCC 对人类社会经济及环境所产生的影响, 从而指导人类的土地利用活动。

所谓土地利用, 即是人类对土地自然属性的利用方式和状况 (傅伯杰, 2013), 人类通过对与土地有关的自然资源的利用活动, 改变地球陆地表面的覆被状况 (李秀彬, 1996) 以满足需求, 获得物质产品和服务 (Vitousek et al., 1997)。土地利用特征, 包括土地利用类型的不同, 土地利用空间格局的异质性以及土地利用管理因子和强度的区别主要 3 个方面

的内容。上述土地利用各组分都与相应的生态过程密切相关,其变化对大气、土壤、水和生物多样性等一系列要素产生影响。全面刻画土地利用各组分的特征,才能揭示 LUCC 的环境效应。

日益严重的水质污染蚕食着大量可供消费的水资源,严重威胁人类的生存与健康。2012 年第六届世界“水论坛”指出,当今全世界仍有 20 亿人不能喝到干净的饮用水,每年都有上百万人因为喝了脏水而患病死亡。根据 2014 年中国水资源公报,全国Ⅳ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类水河长分别占 10.8%,4.7%和 11.7%;Ⅳ~Ⅴ类湖泊 57 个,劣Ⅴ类湖泊 25 个,分别占评价湖泊总数的 47.1%和 20.7%。可见,不论是全球还是中国范围内,水质污染问题都不容乐观。

由于自然环境的改变和不合理的人类活动导致的水体富营养化,是当今世界水污染治理的难题 (Carpenter et al., 1998; Smol, 2008)。尤其是随着工业点源污染控制水平的提高,点源污染已基本得到有效控制,而非点源污染则成为当今包括河流、湖泊、水库等水体富营养化的主体 (USEPA, 2009)。相对于点源污染,非点源污染具有随机性、广泛性、滞后性和模糊性的特征 (贺缠生等, 1998),使得水体富营养的调控和管理更具挑战性,亟须从区域尺度对流域水质污染进行宏观规划和设计。

流域陆地表面的营养物随径流汇入水体,进而引起水体富营养化,受到降雨、地表径流、下垫面特征和人类活动等因素的综合影响 (Oelsner et al., 2007)。土地利用作为人类活动的综合表征,与水质污染的产汇流过程 (Pike et al., 2008; Tu, 2009) 和生物化学过程 (Tu, 2009; Park et al., 2010) 密切相关。不合理的土地利用方式及管理措施和土地覆被类型的变化,会改变营养物在土壤、生物、水等圈层中的运移和传输途径,增加营养元素流失量,导致水质污染加剧 (Almasri et al., 2007; Polyakov et al., 2007)。定量刻画两者的关系,厘定土地利用对水质污染的影响,才能有效控制水质污染。

由于土地利用与水体营养物关系密切 (Gburek et al., 1999; Tong et

al., 2002; Baker, 2003), 上述两者关系的研究国内外已有较多成果。从流域的尺度, 主要采用经验模型和机理模型, 以流域土地利用类型、结构及变化为模型基本参数, 结合流域地形、土壤、水文气象数据、河流情况与参数数据及流域管理措施数据等, 定量研究不同尺度流域的营养物负荷量及其比重, 同时探讨土地利用结构及变化对流域营养物的影响。两类模型各有优缺点, 经验模型方法简单实用性强, 但容易忽略重要的生态水文过程; 机理模型过程充分考虑了影响水质污染的各个因素, 但数据量要求大, 参数过多又带来更多的不确定性。因此, 学者希望采用一个折中的办法, 即以较小的数据量, 重点刻画影响水体营养物污染的重要因素, 解释其迁移转化过程 (Leone et al., 2008), 从而有效管理和控制水体富营养化。从土地利用的角度出发, 刻画土地利用与污染物的产生、迁移和转化过程的关系, 正是解决上述矛盾的一个切入点。

由于土地利用自身的异质性, 土地利用和水质污染之间的关系更为复杂。土地利用的差异, 主要体现为土地利用类型分类的不同 (张景华等, 2011)、土地利用类型结构比例的差异性 (Jones et al., 2001; Johnson et al., 2003)、空间格局的异质性 (White et al., 1985; Reynolds et al., 1999)、管理方式和强度的区别 (王国杰和廖善刚, 2006)。文献表明, 过去数十年国内外学者较多关注的是土地利用类型结构比例, 即主要着眼于分析流域土地利用数量结构、变化特征与水质数据的相关关系以及土地利用对水质污染的贡献程度; 而针对土地利用空间信息的刻画相对不足。研究结果表明, 土地利用不仅在数量、结构上对水体营养物存在影响, 其空间结构及尺度效应等方面也与水体营养物的产生及迁移转化的整个机理过程密切相关, 对空间信息刻画的不足影响造成了以往单纯采用土地利用比例的研究对水体营养物的解释程度不尽相同 (Detenbeck et al., 1993; Johnson et al., 1997; Mander et al., 2000; Ahearn et al., 2005; Brett et al., 2005; Broussard et al., 2009), 影响了对土地利用与水质两者关系的理解 (King et al., 2005), 更导致对水质污染的管理和控制存在偏差, 亟

须全面而深入刻画土地利用特征,以深入探讨土地利用对水体富营养化的影响。

1.2 基于模型模拟的水质污染研究

近30年来,应用模型进行水质污染的定量化研究得到国内外学界的关注,通过模型对水质污染进行模拟,识别其空间迁移和分布,是相关研究的核心内容,主要可分为机理性模型和经验性模型。

经验性模型以输出系数模型为代表,因其避开了污染发生的复杂过程,所需参数少,又具有一定的精度和广泛的适用性,得到快速发展。自Reckhow等(1980)首次较完整地以不同土地利用类型输出系数为基础建立了多元线性回归关系的水体营养物输出系数模型以来,更多学者针对输出系数模型的核心——输出系数开展了多方位的研究。Frink(1991)详细汇总了以往美国所有研究获得的不同土地利用方式下TN(总氮)、TP(总磷)输出系数的范围、平均值/中值;McGuckin等(1999)计算了北爱尔兰2个主要河流不同土地利用方式下的磷输出系数;Zobrist Reichert(2006)估计了瑞士24年间不同土地利用类别下可溶性活性磷、硝酸盐、总氮、氯化物、钾等的输出系数。

在此期间,不少学者还对输出系数模型进行了修正和扩展。Johnes(1996)在模型中加入了牲畜、人口等因素的影响;Worrall和Burt(1999)针对污染物的水文过程进一步考虑了土地利用变化对污染物输出系数的滞后效应;Endreny和Wood(2003)则认为径流速率存在着空间分布模式,主要受径流过程中负荷大小和过滤作用的影响,建立了基于GIS(地理信息技术系统)的贡献消散区-输出系数模型;Khadam和Kaluarachchi(2006)提出了侵蚀级(erosion-scaled)的输出系数模型,引进了沉积排放这个参数来代替水文的变化性。

另外,机理性模型也得到了迅速开发和发展,其远比经验模型复杂,

大多依据水文学原理,以水体污染物的发生、迁移转化和影响的具体过程为框架,通常包括产流、汇流、污染物转化和水质等子模型,涉及参数较多,具有不同的数学基础和模型算法,有许多学者对一系列模型进行了介绍和比较(郑一和王学军,2002;马蔚纯等,2003),具体来讲,机理性模型的发展从20世纪70年代初的提出到现在大致经历了三个阶段。

第一阶段,20世纪80年代之前,这一阶段在污染源调查、污染源特性分析、环境因子对水质的影响分析等方面取得了大量的成果。例如,用于城市水质模拟的暴雨径流模型 STORM (Center, 1977)、暴雨径流管理模型 SWMM (Rossman, 2010),美国农业部开发的农业污染控制最佳管理模型 CREAMS (Knisel, 1980)、美国国家环境保护署 Hydrocomp 公司共同开发的物理分布型综合模型 HSPF (Bicknell et al., 1996)。

第二阶段,从20世纪80年代初至90年代初,主要集中在把已有的模型用于水质污染管理,开发含有经济评价和优化内容的水质污染管理模型上。提出的有代表性的模型有:连续模拟土壤和营养物质从农耕地上流失的 ANSWERS 模型 (Beasley et al., 1980),综合模拟水文、侵蚀、沉积和化学传输等过程的子流域农耕地非点源污染 (AGNPS) 模型 (Young et al., 1989),在 CREAMS 模型的基础上发展的加入模拟不同管理措施对地下水中农药负荷的影响 (GLEAMS) 模型 (Leonard et al., 1987),预报侵蚀产沙和农业面源污染相结合的 EPIC 模型 (Williams, 1989),GLEAMS 模型延伸和扩展的 ADAPT 模型 (Chung et al., 1992),美国农业部开发的适用于较大流域尺度的面源污染负荷计算 SWAT 模型 (Arnold et al., 1993)。

第三阶段,从20世纪90年代初至今,主要是对现有模型的进一步校正、完善和应用,借鉴 GIS 对传统模型进行改造,与专家系统或各种人工智能工具相结合,如 SWAT 模型 (Lenhart et al., 2002; Di Luzio and Arnold, 2004; Gassman et al., 2007; Lee and Heaney, 2010),AGNPS 模型及其扩展的 AnnAGNPS 模型 (Grunwald and Norton, 2000; Haregeweyn

and Yohannes, 2003; Polyakov et al., 2007; Pease et al., 2010)。而且, 这一阶段开发的非点源模型系统平台, 为水质污染的研究和控制提供了有利工具, 水质污染模型呈现出向集成系统发展的趋势。例如, 模拟土地系统的水文循环过程, 可以模拟水量、水质和泥沙运输的 MIKE-SHE 系统 (Xevi et al., 1997), 集合了环境数据、分析工具和各种模拟模型开发水环境保护的方法, 包括流域负荷和传输模型 (HSPF, SWAT)、污染物负荷模型 (PLOAD)、稳态水质模型 (QUAL2E) 的 BASINS 模型 (Lahlou et al., 1998; Whittemore, 1998)。

机理模型对输入数据和参数校正有严格的要求, 现实中往往无法满足, 而统计模型又相对简单, 因此, 现实要求中迫切需要建立权衡两者利弊的模型进行相应的研究 (Krysanova et al., 1998; Leone et al., 2008; Wang et al., 2011), 基于土地利用选择与水质污染密切相关的因素进行定量探讨和计算更为科学而又经济有效 (Moltz et al., 2011)。这主要由于土地利用是两类模型的基础部分: 输出系数模型是以土地利用输出系数为基础建立的经验模型, 而机理模型则偏重水质污染物产生至最终污染全过程的刻画, 尽管对土地利用数据要求相对简单, 如 SWAT 或者 AGNPS 等机理模型运转所需的土地利用数据只是土地利用类型、结构及其变化即可, 但这一数据却是模型运转的基础性数据, 一些学者的研究指出土地利用方式对模型运转结果有显著性影响, Romanowicz 等 (2005) 研究指出 SWAT 模型对土地利用这一基础性的输入数据非常敏感; Tong 和 Chen (2002) 采用 BASINS 模型研究表明土地利用的差异与水体水质差异存在重要的联系。同时, 考虑土地利用单元与受纳水体的距离, 将与水质污染迁移转化密切相关因素的空间信息融入模型, 能够有效提高模型的预测能力 (宁吉才等, 2012)。

因此, 综合两类模型的优缺点, 提取水质污染产生、迁移及转化的关系因素, 综合考虑土地利用异质性的各个组分, 才能准确刻画土地利用与水质污染关系, 获得合理的水质污染模拟结果, 识别水质污染源, 为土地

利用的开发、管理提供合理的建议。

1.3 土地利用对水质污染的影响研究

1.3.1 土地利用类型对水质污染的影响

从20世纪60年代以来,发达国家由控制点源污染转向非点源污染的研究与治理,70年代国外学者开始关注人类土地利用活动对水库、湖泊、河流等水体水质的影响。早期的研究主要通过实地取样定性考察土地利用类型污染物输出的差异,如 Uttormark 等(1974)通过对不同土地利用类型的单位面积年均污染物浓度的比较,指出城市用地流出径流的污染物浓度最大,而林地最小;Haith(1976)研究了土地利用类型对纽约河流水质的影响,并建立了两者之间简单的经验统计模型;Omernik 和 McDowell(1979)收集了遍布美国的928个流域的水体营养物污染的情况,研究了不同流域土地利用类型的水流营养水平特点。这一阶段的研究大多通过对典型样区实地监测而获取数据,探讨土地利用类型与水质污染之间的简单关系。早期的大量研究对不同的土地利用类型对水质污染的影响有了基本的定性判断。一般认为,建设用地导致地表不透水表面(imperious surfaces)的增加,从而改变径流过程,引起水质污染(White and Greer, 2006; Hong et al., 2009),并且,城市化导致径流增加,引起水体包括需氧量、悬浮物和营养物质及病原菌和藻类等的增加,造成水质污染(Paul and Meyer, 2001);而农地利用输出的污染物是水质污染的重要组成部分,农用地与水质污染有显著相关关系(Hooda et al., 2000; Fisher et al., 2006; Motavalli et al., 2008; Smol, 2008),如水体中的硝酸盐(Jordan et al., 1997)、除草剂(Frey, 2001)的浓度与农用地密切相关;至于林地则认为能够截留和过滤水体中的污染物和浓度(Postel and Thompson,

2005), 有效改善水体质量。

随着地理信息系统和遥感技术的发展, 相关学者趋向于以不同尺度流域为基本单元, 定量研究流域土地利用结构、变化特征和水质数据的相关关系, 以及土地利用对水质污染的贡献程度。Detenbeck 等 (1993) 结合航测影像和 GIS 研究了美国明尼阿波利斯-圣保罗郊区农用地和林地面积百分比对水域水质的影响; Johnson 等 (1997) 通过对美国密西根中部 62 个流域支流研究, 建立了不同土地类型面积比例和坡度与水质指标之间的多元回归模型, 发现对水质影响最大的是土地利用指标; Mander 等 (2000) 研究发现在较大的流域中土地利用模式对氮流失起主要作用; Brett 等 (2005) 通过对森林地带和城市地区的比较, 分析了不同土地利用方式对水体水质的影响; Ahearn 等 (2005) 研究了美国加利福尼亚州西部内华达山区土地利用和土地覆被类型对水体水质的影响, 并得出 1999~2001 年土地利用变化与水体中硝酸盐氮和总悬浮颗粒物含量具有相关性; Broussard 和 Turner (2009) 研究认为过去百年美国的土地利用变化与流域硝酸氮浓度存在显著的相关性。

上述研究以土地利用类型作为污染物输出差异的依据, 对同一类型内不再区分, 但在流域尺度即使是同一类型的土地利用, 由于管理和利用强度的差异, 单位面积的污染物输出也可能存在差异, 因此, 需要对污染物输出源的差异进行更精细的刻画。

1.3.2 土地利用强度对水质污染的影响

当前大多数学者将视角集中在土地利用类型、结构与水质污染关系上, 一些学者开始认识到土地利用强度对地球系统的影响, 单单讨论土地利用结构不同而忽视其强度差异, 将影响土地利用对水体污染解释的程度。实际上, 即便是不同子流域具有相似的土地利用数量结构和比例, 土地利用强度的差异也将导致流域水质参与的显著差别 (Dillon and

Kirchner, 1975; Oni et al., 2014)。然而,在目前研究中土地利用强度的量化和测度却并不多见(Erb, 2012)。

目前,少数研究中根据土地利用强度的差异对土地利用类型进行细分,如Zhang(2010)将建设用地分为高密度居民用地和低密度居民用地,Su等(2012)根据人口密度、GDP和建设用地斑块面积标准将建设用地分为三个利用强度,Palmer-Felgate等(2009)、Jarvie等(2010)和Vogt等(2015)将耕地和牧草地分为不同的种植和畜禽养殖强度,Carey等(2011)将建设用地、耕地和牧草地细分成不同利用强度的土地利用类型。上述研究,在一定程度上考虑了土地利用强度的作用,用以分析不同强度的土地利用类型比例与水质污染参数的关系。

同时,部分研究中也开始引入与土地利用强度相关的指标,来讨论其与水体污染的关系,如施肥强度(Iital et al., 2010; Mander et al., 2000)、畜禽养殖密度(Berka et al., 2001; Harding et al., 1999)、畜产品的产量(Smith et al., 2013)、人口密度(Yin et al., 2005)、非渗透水面比例(Brabec et al., 2002; Lee and Heaney, 2003)、城镇化阶段(Liu et al., 2012)等等。然而,上述这些研究多是将土地利用数量和强度在不同研究尺度进行单独分析和讨论,如何量化两者的联合作用,差别化同一土地利用类型下利用强度的差异,将有助于提高土地利用对于水质污染关系的解释能力。

1.3.3 土地利用空间格局对水质污染的影响

土地利用空间分布格局的差异在相关研究中也很少被量化和考虑,使得解释水质污染的程度存在很大的差异性(Johnes, 1996; Johnson et al., 2003),最终造成水体污染不但与污染物来源相关,而且在更大程度上取决于水质污染物的空间分布与迁移过程(陈利顶等, 2002),草地、河岸林、湿地等土地利用类型对迁移的水质污染物都有截留效应(Peterjohn

and Correll, 1984; Pearce et al., 1997; 李秀珍等, 2001)。可见, 上述释放污染和滞留、吸纳污染的土地利用类型的空间组合与分布, 以及污染物迁移路径的长短, 都会影响受纳水体的被污染强度。O'Neill 等 (1997) 指出土地利用空间上的格局分布对河道生态与环境存在一定的影响; Verburg 等 (2002) 研究表明, 空间交互作用和邻近特征是土地利用的重要驱动力; 更有学者认为进行水质污染的控制需要合理优化土地利用的空间格局配置 (Zhang et al., 2011); 能够有效控制水质污染的植被缓冲带的空间设置, 也需要考虑土地利用之间的空间格局关系 (Qi and Altinakar, 2011; Udawatta et al., 2011)。可见, 研究水质污染与土地利用的关系, 必须考虑土地利用的空间分布与组合。

土地利用单元距离污染受纳水体的远近或所处位置的地形 (坡度) 的不同对水质污染的迁移转化有重要的影响。Ingram 和 Woolhiser (1980) 指出溶解态磷等迁移量随地表坡度及降雨动能的增大而增大, 在坡长为 33 ~ 100m 的条件下, 溶解态磷的迁移量也随坡长增大而增大; Soranno 等 (1996) 认为在用输出系数法预测和评价流域非点源磷负荷时, 应当考虑营养物来源与受纳水体之间的距离; Castillo 等 (2000) 发现地表径流中的硝酸氮和可溶性磷与流域出水口的土地利用存在显著关系; Schilling 等 (2000) 通过 1996 ~ 1998 年的流域地表径流中氮素含量变化与流域汇水区处农田面积比例变化研究, 发现两者有比较明显的相关性; Lewis 等 (2007) 指出水中氮浓度的空间异质性受迁移路径的影响; Gburek 等 (1995) 和 Sims 等 (1998) 指出坡度梯度比坡长对水质污染的影响更为显著; Liu 等 (2004) 认为可通过幂函数来表示作为水质污染载体的地表径流与坡度的关系。

目前流域尺度上的研究均是通过流域出水口断面的水质污染输出来反映整个流域的情况。流域上产生的污染物输出要大于到达流域出口断面的污染输出, 这是因为污染物是伴随着暴雨径流的产生与汇集过程向流域出口断面迁移的, 在这个过程中会出现土壤和植被的截留、向地下水的渗