

城市化背景下流域土地利用变化及其对河流水质影响研究

Chengshihua Beijingxia Liuyu Tudi
Liyong Bianhua Jiqi
Dui Heliushuizhi Yingxiang Yanjiu

胡和兵◎著



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

◎本书的出版得到国家自然科学基金项目(编号40871084,41071119)、江苏省普通高校自然科学研究计划项目(编号10KJA70029)、江苏省高校“青蓝工程”中青年学术带头人培养项目、江苏省环境演变与生态建设重点实验室开放基金、安徽省高校省级自然科学研究项目(编号KJ2012A208)等的资助

城市化背景下流域土地利用变化 及其对河流水质影响研究

胡和兵 著

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市化背景下流域土地利用变化及其对河流水质影响研究/胡和兵著.
—合肥:合肥工业大学出版社,2014.3
ISBN 978-7-5650-1739-1

I. ①城… II. ①胡… III. ①流域—土地利用—研究—南京市②河流水质—研究—南京市 IV. ①F321.1②P343.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 033975 号

城市化背景下流域土地利用变化 及其对河流水质影响研究

胡和兵 著

责任编辑 章建

出版	合肥工业大学出版社	版次	2014年3月第1版
地址	合肥市屯溪路193号	印次	2014年4月第1次印刷
邮编	230009	开本	710毫米×1010毫米 1/16
电话	总编室:0551-62903038	印张	11.25
	市场营销部:0551-62903198	字数	173千字
网址	www.hfutpress.com.cn	印刷	合肥现代印务有限公司
E-mail	hfutpress@163.com	发行	全国新华书店

ISBN 978-7-5650-1739-1

定价:28.00元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

序

城市化是全球社会、经济发展的必然趋势,对促进社会、经济发展,提高人们生活质量和城市文明水平具有重要作用。然而,伴随全球城市化进程的加快,城市化过程正在对周围生态环境造成现实的或潜在的威胁。为此,如何协调城市化与生态环境的关系成为学术界和政府决策部门普遍关注的一大热点问题。

城市河流湿地是城市区域重要的生态系统和景观类型,在促进城市社会、经济发展和维护生态安全方面具有重要作用。然而,面对快速城市化发展过程中高强度人类活动影响,河流湿地生态系统结构破坏严重,水文过程改变,水污染严重,生物多样性降低,河流生态系统服务功能严重受损。尤其是河流水污染威胁日趋严重,并且已经成为城市生态环境面临的突出问题之一。

在城市点源污染得到较好控制后,城市非点源污染逐渐成为影响河流水质的主要因素。目前,以流域为基本单元,揭示不同土地利用格局与水环境质量之间的影响关系,是从土地利用角度进行非点源污染防治的重要方法,该方面研究得到了国内外的普遍重视。党的十八大明确提出生态文明建设,将保护生态环境上升到国家战略。在此背景下,胡和兵博士的研究选取快速城市化区域的南京市九乡河流域为案例,综合运用 3S 技术、野外监测与实验室分析、地统计学和 RDA 分析等方法,系统分析了城市化影响下流域土地利用格局变化特征;深入揭示了九乡河小流域河流水环境质量特

征与空间差异;进而阐明了土地利用与河流水环境质量响应关系并提出了有利于流域土地利用优化管理的河流水环境保护对策与建议。该研究结果对指导城市河流水环境保护与城市规划具有重要科学价值与现实意义。

最后,希望作者继续该方面研究工作,期待出现更多更好的成果,这是我对作者今后研究方向的期望。

刘红玉

2014年1月

目 录

第 1 章 绪论	(001)
1.1 研究的背景与意义	(001)
1.2 国内外相关研究进展	(002)
1.3 研究内容与技术路线	(015)
1.4 本章小结	(019)
第 2 章 研究区概况与数据来源	(020)
2.1 研究区域概况	(020)
2.2 数据来源及处理	(025)
2.3 本章小结	(034)
第 3 章 城市化背景下流域土地利用时空变化特征	(035)
3.1 城市化背景下流域土地利用结构及其变化	(035)
3.2 城市化背景下流域土地利用变化方向	(039)
3.3 城市化背景下流域土地利用空间变化规律	(048)
3.4 城市化背景下流域土地利用格局及其变化	(052)
3.5 城市化背景下流域土地利用强度时空分异特征	(060)
3.6 土地利用强度变化对格局的影响	(070)
3.7 本章小结	(071)
第 4 章 城市化背景下河流水环境质量特征	(073)
4.1 监测点位的设置	(073)
4.2 监测指标与分析方法	(076)
4.3 水质指标选取及季节划分	(078)

第1章 绪论

1.1 研究的背景与意义

1.1.1 研究背景

城市化是全球社会、经济发展的必然趋势,对促进社会与经济发展、提高人们的生活质量和城市文明水平具有重要作用。然而,伴随全球城市化进程的加快,城市化过程正在对周围的生态环境造成现实或潜在的威胁^[1]。为此,如何协调城市化与生态环境的关系成为学术界和政府决策部门普遍关注的一大热点问题,并上升为世界性的战略问题^[2]。

城市湿地具有城市各种生态系统所能产生的所有生态服务功能类型,是单位面积生态服务价值最高的生态系统类型之一^[3]。同自然湿地一样,城市湿地始终发挥着净化水质、调节气候、蓄水防旱及为野生动植物提供生境等十分重要的功能。然而,随着城市化进程的人口增长、经济发展、城市土地拓展,作为重要生态载体的城市湿地都不同程度地受到影响^[3,4]。具体表现为湿地面积逐渐萎缩、污染加剧、生物多样性下降和景观破碎化加剧等,湿地功能不断退化^[5-7],尤其是湿地水环境受污染的威胁越来越严重,加上城市暴雨径流的突发影响,更是加剧了城市湿地水污染进程,威胁着区域社会经济发展和城市文明的进步。为此,如何评估城市化影响下湿地水环境质量状况与未来发展趋势,协调城市湿地生态保护与合理利用,指导城市规划与生态建设,实现人与自然的协调发展至关重要。

世界范围内,相对于非城市区域的湿地研究,城市湿地研究起步较晚。2003年美国湿地科学家协会(SWS)在美国新奥尔良首次举办了主题为

“Wetlands in Urban Watersheds: Connections and Context”的研讨会,其目的是使科学家、管理者、土地所有者等更好地理解 and 认识城市环境中的湿地,协调城市生态、社会经济发展^[8]。在此会议的推动下,各国相继开展了有关城市湿地的研究工作。目前,该方面的研究主要核心问题包括:城市湿地生态系统特征与演化特点^[9];城市化对湿地生态过程的影响^[10];城市湿地生态安全调控与管理等^[4]。总体看来,由于城市湿地受人类活动影响的复杂性和区域多样性,其研究还处于起步探索阶段,尚未形成统一的理论方法体系,从而影响了城市湿地的研究进展。

1.1.2 选题意义

南京位于长三角经济发达地区,是我国快速城市化的典型代表区域之一。自2000年以来,南京市城市逐渐由中心向周边拓展,形成三个“副城区”。其中,南京仙林新市区是发展较为快速的区域,九乡河由南向北贯穿该区域。在自然和人类高强度影响下,南京仙林新市区在快速城市化发展过程中,九乡河河流湿地生态系统结构破坏、水文过程改变、水污染严重、生物多样性降低,湿地水环境状况下降。在快速城市化背景下,城市河流湿地承受着自身生态过程不断演变和多尺度人类影响等诸多问题。城市河流作为城市景观中重要生态廊道之一,其水环境质量的优劣关系到整个城市的可持续发展。而土地利用状况可在一定程度上反映人类干扰强度的大小。因此,针对城市化发展特点,深入理解和认识城市河流湿地水环境质量变化特征与规律,揭示不同尺度条件下,城市河流水环境质量与土地利用之间的响应关系,探讨有利于城市河流保护与合理利用的生态安全调控体系,对城市化区域土地利用及河流水环境保护具有重要的理论和实践意义。

1.2 国内外相关研究进展

1.2.1 城市化区域土地利用景观格局变化

土地利用以及土地覆被变化是全球变化研究的热点问题之一^[11,12]。大

量的研究已经表明,土地利用变化对陆地生态系统以及气候变化等有着重要影响^[13]。受城市化过程的影响,城市化区域的土地利用变化异常明显,因此,城市化区域的土地利用及其变化研究一直是相关研究者关注的中心问题之一^[14,15]。

1. 城市化区域土地利用变化

(1) 土地利用的结构分析是基础

城市土地利用结构是城市土地内部各种功能的用地比例和空间结构及其相互影响^[16],包括土地利用的数量结构和土地利用的空间结构。

土地利用数量结构主要反映不同用地类型所占比例的大小,是城市土地利用及规划研究关注的主要问题之一,作为一种揭示城市化区域土地利用及其变化特征的基本数量方法,在相关研究中多有涉及。已有的研究表明,伴随城市化过程的深入,城市化区域的土地利用结构也在发生着不断演变^[17,18]。而建设用地比例增加,农用地特别是耕地所占比例的减少是城市化区域土地利用结构数量变化的显著特征^[19,20]。并且,伴随城市化水平的提高,城市建设用地则进一步表现出居住用地、公共设施用地的不断增加,而工业用地、仓储用地及对外交通用地则随之减少^[21]。

为了更深入地刻画城市化区域的土地利用数量结构特征,部分学者尝试构建了新的指数或引入了新的研究方法。如陈彦光等^[22]基于信息论提出了均衡度概念,并分别以北京等10个城市,以及广州建成区为例介绍了该指数的应用。同时,在分析广州、郑州等城市土地利用结构的基础上,总结了城市土地利用信息熵值规律:城市越大,城市用地结构的信息熵值越大;专业城市信息熵小于综合城市信息熵;功能区信息熵小于城市化区域。随后,张洁等^[23]运用该指数对东京与中国大城市的土地利用结构进行了比较,结果发现我国城市工业用地所占比例明显偏高。赵晶等^[24]进一步运用该指数对上海市中心城区的土地利用结构进行了客观分析。而冯健等^[25]基于分形理论,对1949—1996年杭州市城市土地利用结构的演化特征进行了研究,结果表明:杭州市具有较明确的自相似性,分形形态逐渐变好。鲁春阳等^[26]采用比较法、模型法(均衡度、优势度以及信息熵模型)以及主成分法,对2007年全国地级以上城市的土地利用结构进行分析。

土地利用结构不仅表现在数量上,还表现在空间上。土地利用的空间

分异可进一步反映不同用地类型的空间差异、空间变化以及变化类型的空间分布,是土地管理和规划关注的焦点^[12]。土地利用变化状况的研究是土地利用与土地覆被相关研究中开展相对较早的领域之一^[27]。20世纪70年代以前,土地利用变化研究主要基于相关的统计资料、图件或少量航空遥感资料。受限于基本数据及技术手段,土地利用变化的研究大多聚焦于研究区的数量变化分析。20世纪80年代以后,3S技术的快速发展为在更大的时间和空间尺度上土地利用数据的获取提供了便利,也为区域土地利用变化从数量变化研究向空间分异研究提供了技术条件。基于3S技术,许多学者针对不同案例区开展了大量研究,成果显著^[28-31]。其中土地利用类型的分布,以及不同土地利用类型间转移的空间展示是其主要表现形式,这也仍然是当前表征土地利用变化空间分异特征的主流方法。例如,姜广辉等^[32]通过获取的山区建设用地扩张图,结合相关指数准确刻画了北京山区建设用地扩展的空间分异特征。随着研究的逐步深入,土地利用空间分异的研究已不再局限于传统的空间展示,而是引入相关技术和方法后进行更深入的分析。例如,喻红等^[33]采用地形位指数和分布指数对快速城市化的深圳龙华区景观组分进行分析,较好地刻画了景观组分在地形梯度上的分异特征。李晓文等^[34]基于多时段的遥感数据,运用缓冲区法分析和比较了上海及其周边主要城镇的城市用地空间扩展特征,并进一步将其划分为4种扩展类型。谢贤健等^[35]引入均值度指数,结合土地利用信息图,选择3个尺度对内江市土地利用的空间结构进行了分析,结果表明,城市土地利用的空间分异具有尺度依赖性。马士彬等^[36]结合分布指数与地形位指数,基于GIS/RS技术,定量分析了贵州六盘水市1990—2010年间土地利用空间分布特征。此外,匡文慧等^[37]还利用“面向对象分割”信息提取的方法重建了长春市百年尺度土地利用空间结构演变特征。

可以看出,土地利用结构分析正朝着深入化方向发展,准确剖析城市化区域土地利用结构是客观揭示其土地利用特征的基础。

(2) 土地利用变化指数模型应用广泛

为深刻揭示土地利用变化的数量特征及其变化过程,土地利用指数模型逐渐成为土地利用变化研究的主要方法。朱会义和李秀彬^[38]专门针对区域土地利用变化模型进行了系统总结,将土地利用变化模型分为三类:表现

资源变化的模型、揭示变化方向的模型以及透视变化空间的模型,并按类型对各种模型进行了阐述:(1)资源变化模型包括土地利用变化率、土地利用综合程度指数、土地利用程度变化指数;(2)揭示变化方向的模型包括土地利用转移矩阵以及地类变化的流向百分比;(3)透视变化空间形式的模型包括土地利用动态度、相对变化率、邻接度、重心转移以及多度、重要值等。

20世纪80年代以来,伴随全球变化研究的兴起,各类指数模型被广泛应用于土地利用变化研究中,针对不同区域的土地利用变化形成了大量的研究案例。从研究区域来看,主要集中于经济发达的东部地区、北方农牧交错带以及绿洲地区^[39-41],新疆、四川等西部地区的土地利用问题也日益受到重视^[42]。随着城市化过程加快以及快速城市化进程对陆地系统影响的加剧,城市及城市化区域的土地利用变化也逐渐成为人们关注的焦点。

早期的研究多以转移矩阵的应用为主,通过分析土地利用转移矩阵来揭示不同土地利用类型的转移方向。如史培军等^[42]利用3期遥感影像,基于转移矩阵探讨了深圳市15年来土地利用变化的空间过程,结果表明城镇用地的迅速增加来源于对农业性用地占用;田光进等^[43]应用土地利用转移矩阵对海口市1986—1996年及1996—2000年的土地利用结构变化研究发现,海口市建设用地来源于耕地、林地、滩涂以及未利用地的转化;庄大方等^[44]运用转移矩阵对北京市1985—2000年土地利用变化分析表明,北京市林地、工矿用地以及居住用地之间的转移趋势明显。

随着研究的逐步深入以及3S技术的发展,综合运用多指数模型以揭示城市化区域土地利用变化特征的研究日益增多。如潮洛濛等^[45]基于土地利用动态度指数、土地利用程度指数以及土地利用程度综合指数,以呼和浩特市为例,利用1987年及1997年遥感数据,对西部快速城市化地区土地利用变化进行了分析,发现城市土地利用正处于发展期,土地利用变化强烈;孟宪磊等^[46]应用单一土地利用动态度及转移矩阵模型,分析了慈溪市在城市化过程中土地利用变化,结果发现城市化引发了建设用地的增加,而自然景观减少。侍昊等^[47]基于3期遥感影像和GIS、RS技术,利用土地利用动态度指数及转移矩阵模型,分析了无锡市15年来的土地利用变化,结果表明:研究期间林地的损失最大,而建设用地增长较快;刘保晓等^[48]选用土地利用动态度(单一,综合)、土地利用转移矩阵以及土地利用重心4种模型,应用4

期遥感数据,结合 GIS 技术,分析了天津港区的土地利用变化特征,为认识港口土地利用的发展规律奠定了基础。

综上所述可以看出,指数模型结合土地利用结构分析是从数量上揭示城市化区域土地利用变化速度、方向、强度、规律以及幅度等特征的有效方法。其中,以土地利用转移矩阵及动态度指数应用最为广泛。但已有的研究大多集中于一个或几个方面特征,而针对研究区开展多方面特征综合研究的较少。

(3) 土地利用强度日渐受到关注

城市化过程也急剧改变着区域的土地利用/土地覆被状况,进而引发区域的土地利用强度发生改变。由于土地利用强度在一定程度上可反映人类活动对区域生态系统干扰程度的大小,因此土地利用强度研究逐渐成为土地利用变化研究的重要内容之一。综合当前的研究来看,土地利用强度的度量方法主要分为三种类型。第一种为以类型模式表达为主的方法,如早期德国科学家冯屠能概括的农区土地利用强度,以及随后的图解模式、一般模式、极化/反极化模式、重力模式等^[49]。其次是通过构建指标体系对区域的土地利用强度进行测度。而应用最为广泛的为刘纪远等提出的土地利用强度综合指数法。该方法在对不同土地利用类型进行分别赋值的基础上,给出土地利用程度的定量表达。相比于其他两种方法,该方法指数形式简单,且易于在 GIS 中操作处理,因而在土地利用强度的相关研究中得到了广泛的应用。如吴承祯等^[50]应用该指数,结合地统计学方法对中国土地利用程度的空间分异规律进行了模拟;吴金华等^[51]基于对土地利用程度指数的改进,对延安市土地利用程度进行了评价;王国杰等^[52]通过格网采样,结合地统计学的方法,对晋江市土地利用强度的空间异质性进行了分析;李瑞雪等^[53]基于土地利用程度指数,对北京城市扩展特征进行详细分析,并提取了北京市城市范围的边界;杨玉婷等^[54]应用土地利用程度指数对张掖市甘州区的土地利用程度及其空间差异进行了分析研究;冯异星等^[55]基于 GIS 和 RS 技术,探讨了新疆玛纳斯河流域土地利用程度变化,并在此基础上进一步分析了土地利用程度对生态安全的影响。

随着土地利用强度研究的逐步深入,土地利用强度逐渐向构建新的指数方向发展,新的评价方法也不断涌现。田彦军等^[56]从种植制度、有效生物

产出以及经济产出3个方面构建县域土地利用程度评估模型,并对曲周县土地利用程度进行了评估;丁忠义^[57]等在重新界定土地利用强度内涵的基础上,提出了绝对土地利用强度、相对土地利用强度以及综合土地利用强度的定量表达;王秀红等^[58]利用因子分析法,结合GIS技术,分别对我国西部以及县域土地利用程度空间分异进行了客观评价。叶敏婷等^[59]通过构建人工神经网络将云南省土地利用较好地划分为6种类型;谢正峰等^[60]基于Moran's *I*指数分析了广州市1990—2004年土地利用程度的空间自相关性,结果表明:广州市土地利用程度具有较高的正相关性。

可以看出,土地利用强度研究日益受到重视。但以往的研究多是以行政单元为研究区的土地利用强度总体特征的研究,而基于流域尺度并对其内部空间分异进行探讨的研究相对不足^[61]。

2. 城市化区域景观格局变化

(1) 土地利用逐渐与景观格局研究相结合

单纯的土地利用变化分析虽能反映城市化区域土地利用变化的数量特征,但无法表征各组分的空间配置关系。因此,土地利用变化分析逐渐与景观格局研究相结合,以深刻揭示城市化区域土地利用景观格局变化的时空特征。

从已有的研究看,城市化区域景观格局分析大多运用传统的景观格局指数来刻画研究区的景观结构特征。由于单一的时间或空间维上的分析不能深刻揭示区域景观格局的整体特征,因此城市化区域景观格局分析逐渐转变为时空结合的多维分析,从而实现城市景观格局的同时/异地、同地/异时、异时/异地研究,所有这些构成了城市化区域景观格局分析的主要内容^[62]。如曾辉等^[63]利用南昌市1988—2000年期间5个时段的TM卫星影像数据,对南昌市的景观动态变化特征和驱动机制进行了研究;宋艳墩等^[64]定量研究了深圳经济特区1979—2003年景观格局的时空变化特征;郭砾等^[65]对快速城市化进程中广州市景观格局时空分异特征进行了研究;刘江等^[66]基于厦门市集美区1987—2007年5期TM/ETM+遥感影像数据,定量研究了半城市化地区的景观发育过程及其时空动态特征;陈奕兆等^[67]在遥感与GIS技术平台的支持下,利用景观格局梯度法分析了张家港市各土地利用类型的景观格局及其时空分布特征;杨英宝等^[68]利用3期TM图像,

研究了南京市自 1985 年以来景观格局的动态演变规律等。

景观格局的静态和动态研究通常借助各种景观指数来实现。景观格局指数仍然是城市化区域景观格局及其变化研究中应用最为广泛的方法。在已有的研究中, GIS、RS 以及数学模型发挥着关键作用。迄今为止, 诸多学者提出了大量景观格局指数。而各种景观格局指数计算软件(如 Fragstats 软件)的出现, 为景观格局研究的迅猛发展提供了良好条件^[62], 但在景观指数的选择上仍存在许多困惑^[69,70]。伴随 GIS 和 IT 技术的快速发展, 新的景观格局指数仍然在不断被提出, 如 Verboom 等^[71]创建的连通度指数(Connectivity index)以及陈利顶等建立的景观空间负荷对比指数^[72], 也都得到了较广泛的应用。

总体而言, 景观格局分析仍然是景观生态学的重要内容之一, 且土地利用研究逐渐与景观格局研究相结合。景观格局分析的最终目的是为了刻画格局与过程之间的相互关系, 而定量分析区域的景观格局则是研究格局与过程关系的基础。

(2) 景观格局研究逐渐与生态过程研究结合

景观格局与生态过程之间关系的研究是景观生态学的核心问题之一^[70]。而且, 格局与过程也客观存在于现实景观中。由于研究的目标差异, 不同的研究在对格局、过程的分析上可能有所侧重。实际上, 景观格局和生态过程之间存在紧密联系, 忽略任何一方都不利于对景观特性的理解^[62,70,72]。随着景观生态学的不断深入, 诸多学者已不再局限于简单的景观格局描述, 逐渐将景观格局与生态过程的结合作为研究的重点, 以深刻揭示格局与过程之间的关系。

目前, 景观空间格局对河流水质影响的研究, 是景观格局与生态过程研究的热点问题之一。在点源污染得到较好控制后, 非点源污染逐渐成为地表水环境质量的主要影响因素^[74,75]。而从景观生态学视角, 研究景观格局与水环境质量之间的关系, 继而从景观格局入手进行非点源污染防治是一种非常有效的措施^[76]。在此背景下, 自 20 世纪 70 年代以来, 国内外针对景观格局与河流水质间的关系开展了一系列广泛而深入的研究。早期的研究主要集中于景观组分面积与河流水质间的关系^[77,78]; 随着景观生态学以及 3S 技术的发展, 2000 年以后, 不同景观格局对河流水质的影响逐渐受到关

注^[76-80]。针对景观格局与河流水质间的关系研究,国外开展得相对较早。诸多学者结合不同的案例区,广泛探讨了景观格局与水化学离子、常规理化指标、营养物、重金属以及有机污染物等之间的关系^[81]。

Chattopadhyay 等^[82]针对快速城市化的 Chalakudy 河流域,基于 27 个监测点,选择了 pH、DO、NH₃-N、Cl、PO₄⁻P 等指标,通过比较不同类型区域的指标均值,发现城市用地类型区的水质较差;Amiri 等^[83]选择 BOD、pH、DO、SS、TN、TP 等指标,研究了日本 Chugoku 区景观格局与水质间的关系,结果发现斑块水平上景观格局对 DO、pH 以及 TP 的影响更为明显;Mateos^[84]选择 TN、TP、TDS 以及 EC 等水质参数,研究了西班牙 Ebro 河流域景观格局以及湿地特征与河流水质的关系,结果表明增加流域尺度的景观异质性及湿地的数量有助于改善河流水质;Lee 等^[85]选择 TN、TP、BOD₅、COD 以及 EC 等指标,基于韩国 144 个水库,从景观和类型水平研究了流域土地利用格局与水库水质间的关系,结果表明城市用地的斑块密度、边界密度以及城市用地的面积越大,水库的水质越差。

近年来,国内在这方面的研究也取得了一定进展。岳隽等^[75]基于景观空间负荷对比指数,以深圳西丽水库流域为例,探讨了景观空间分异特征对水环境质量的影响;郭青海等^[86]以武汉市 4 个湖泊为案例区,选择 TN、TP、NH₃-N 以及硝酸盐等水质参数,分析了城市土地利用异质性对湖泊水质的影响;胡和兵等^[87]以快速城市化过程中的九乡河流域为例,选择 TN、TP、COD_{Mn}以及氨氮等水质参数,分析了城市化流域景观格局与河流水质的响应关系,发现城市建设用地、未利用地与水质正相关,而林地与水质呈负相关,流域景观以少数类型的大斑块为主时水质较好;郝敬锋等^[88]选择了南京市东郊 17 个小块湿地,选择 TN、TP、NH₃-N、COD_{Mn}以及 EC 等水质参数,探讨了小流域尺度景观格局与水质的关联,认为建设用地对湿地水质存在显著影响;刘珍怀等^[89]选择 DO、COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TP、TN 等 15 个水质参数,研究了快速城市化的深圳市景观组分对水质退化的影响,结果表明:影响河流水质退化的不透水面阈值比例为 38.2%~50%;张大伟等^[90]以常州市武进港为研究区域,探讨了 COD、BOD₅、NH₃-N、TN 以及 TP 等水质指标与区域景观格局间的关系,认为建设用地是影响河流水质的关键因素,水质参数与多样性指数及均匀度指数呈明显的负相关,而与蔓延度指

数呈明显的正相关;夏骥等^[91]研究了京杭大运河无锡段土地利用与河流水质的响应关系。此外,还有诸多学者针对非城市化区域开展了相关研究^[92-95]。

可以看出,关于景观格局与河流水质间关系的研究已在国内外广泛展开。总体而言,常规理化指标始终是相关研究的重点^[81]。而在本研究区,河流上游、中游主要为农业区,下游以文教区为主,流域范围内基本无工业,因此本研究根据研究区的污染排放特征,在参考相关研究的基础上,主要选择了与生活污染有关的 N、P 营养盐指标,有机污染指标 COD_{Mn} 、Chla 以及 DO 等指标。

1.2.2 城市化对河流水环境质量的影响

多数研究表明,水质与城市化之间有着密切的关系,快速城市化会导致河流水质的劣化^[96]。Leblanc 等^[97]的研究发现,土地利用强度增加会增加水体的温度。Fish 等^[98]也发现土地利用对地表水水质有影响,而快速城市化与近岸湿地的围垦是长江重金属污染的主要原因。Tang 等^[99]的研究表明,城市扩展是增加城市非点源污染的主要驱动力之一。Yu 等^[100]对大运河的研究也表明,城市化水平与水质参数显著相关,且与不同指标的相关性大小呈降序排列,即 Cond (电导率) $>$ 营养盐 $>$ 金属元素。

城市化可引发流域水文条件发生变化,进而影响河流的非点源污染。伴随城市化过程的推进,城市化区域不透水面的面积也在不断增加,加速了地表径流形成^[101]。而城市暴雨径流中含有诸如营养物、病菌、沉淀物以及重金属等许多污染物,已经成为水质破坏的主导原因^[102]。随着城市化过程的进行,土地利用类型也在不断改变,污染物的种类、数量以及浓度也随之发生变化^[95,103,104]。Rose 等^[105]研究表明,随着城市化水平的上升,流域基流(Base flow)中溶解物质的浓度升高。Corbett 等^[106]对美国南卡罗莱纳州的森林流域和城市流域中非点源污染的径流进行模型模拟后发现,城市径流中的沉淀物量比森林径流中的沉淀物量多 12.65 %。

去除入河的营养物质和污染物是河流所具有的生态服务功能之一,可降低输入河流中的营养盐及其他污染浓度,甚至完全消除^[107]。营养物吸收距离(Nutrient Uptake Length)是指一个营养物分子在河流中被吸收之前向

下游所迁移的平均距离^[108,109]。有研究表明,与非城市区域的大小相似的河流相比,城市河流的营养物吸收距离更长,这表明在城市河流中,不仅营养负荷增加,而且营养物质的去除效率也大大降低,进而引起下游水体污染负荷的增加^[107]。

为揭示城市化对地表水质的影响,许多研究通过设置城乡样带来识别二者的关系^[110-112],结果表明,源于城市的污染物是地表水污染的主要因素。如 Wang^[111]对上海农村、郊区以及城市三个类型区在 1982—2005 年 73 个监测点的水质变化研究发现,地表水质的空间分异决定于城市化水平。OuYang 等^[113]在珠江三角洲的研究发现:城市化速度与城市河流的污染水平之间呈正相关;相比于农村河流,城市河流污染更为严重;在城市发展的过程中,城市化过程对河流水质有着显著的负影响。

城市化通常会导致流域磷浓度的增加^[114,115]。不仅颗粒态的磷增加,溶解态的磷也会增加,从而引起河流 TP 浓度的上升,其浓度及排放量甚至可超过以农业种植为主的流域^[116];Osborne & Wiley^[117]的研究也表明,城市化是影响流域磷变化的主要因素,即使城市区域仅占流域面积的 5%,全年溶解态磷的浓度仍然受城市土地利用的控制。Michael^[107]认为,在城市化流域,磷的主要来源是废水排放和化肥的施用。而 Waschbusch 等^[118]对 Wisconsin 州 Madison 市的研究表明,城市区域人工草坪及街道也是城市河流磷的主要来源。此外,土壤对磷的浓度也有重要影响,经施肥而被储存在土壤中的磷,可以通过地表土壤的侵蚀作用被重新释放,进而引发受纳水体的富营养化,因此在城市化区域,在农用地转变为城市用地的过程中应该关注这一问题^[119]。

相比于磷,城市河流中氮的增加更为明显,而且铵态氮及硝态氮均有所增加,其增加的程度依赖于废水的处理技术、允许排放量以及化肥的施用等^[107]。同磷形似,通常在农业流域河水中氮的浓度相对较高,但 Nagumo & Hatano^[120]的研究表明,流域城市化甚至可引发更高水平的磷负荷。

从以上可以看出,城市化过程对河流水质存在显著影响,其中城市非点源污染具有较大贡献。因此,利用景观生态学的基本原理,探讨城市化区域不同景观要素对水环境质量的影响程度,继而从景观格局入手进行城市化区域面源污染调控是一种非常有效的措施。