

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第2期

Vol.37 No.2

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

编者按 (403)

我国化学品的风险评价及风险管理 王铁宇,周云桥,李奇锋,吕永龙 (404)

土地利用回归模型在大气污染时空分异研究中的应用 吴健生,谢舞丹,李嘉诚 (413)

中国2000~2010年生态足迹变化特征及影响因素 黄宝荣,崔书红,李颖明 (420)

关中地区冬季PM_{2.5}中碳气溶胶的污染特征及来源解析 田鹏山,曹军骥,韩永明,张宁宁,张蓉,刘随心 (427)

利用SPAMS研究南宁市冬季单颗粒气溶胶化学成分 刘慧琳,宋红军,陈志明,黄炯丽,杨俊超,毛敬英,李宏姣,梁桂云,莫招育 (434)

南京夏季市区VOCs特征及O₃生成潜势的相关性分析 杨笑笑,汤莉莉,张运江,母应峰,王鸣,陈文泰,周宏仓,花艳,江蓉馨 (443)

北京城区气传花粉季节特征及与气象条件关系 孟龄,王效科,欧阳志云,任玉芬,王巧环 (452)

重庆垃圾焚烧厂汞的分布特征与大气汞排放因子研究 段振亚,苏海涛,王凤阳,张磊,王书肖,余斌 (459)

三峡库区腹地大气微量金属干湿沉降特征 张六一,刘源,乔保清,付川,王欢博,黄怡民,杨复沫 (466)

长沙近地面水汽中稳定同位素的监测与分析 谢宇龙,章新平,姚天次,黄煌 (475)

青藏高原内陆典型冰川区“冰川-径流”汞传输过程 孙学军,王康,郭军明,康世昌,张国帅,黄杰,丛志远,张强弓 (482)

西藏湖泊沉积物重金属元素特征及生态风险评估 郭泌汐,刘勇勤,张凡,侯居峙,张宏波 (490)

坦噶尼喀湖东北部入湖河流沉积物重金属分布特征与生态风险评价 余成,陈爽,张路 (499)

近百年来新疆博斯腾湖多环芳烃的组成及变化特征 沈贝贝,吴敬禄,赵中华,曾海鳌,金苗 (507)

舟山青浜岛不同环境介质中PAHs的分布特征 郑煌,邢新丽,顾延生,桂福坤,祁士华,黄煊芳 (513)

模拟排水沟渠非点源溶质氮迁移实验研究 李强坤,宋常吉,胡亚伟,彭聪,马强,姜正曦,琚艺萌 (520)

中田河流域景观异质性对水体总氮浓度影响研究 王晶萍,李兆富,刘红玉,王刚,辛强 (527)

江西香溪流域干湿季交替下底泥氮释放机制及其对流域氮输出的贡献 韩宁,郝卓,徐亚娟,高扬,于贵瑞 (534)

巢湖水体氮磷营养盐时空分布特征 奚姗姗,周春财,刘桂建,吴蕾,王培华 (542)

合肥城郊典型农田溪流系统沉积物磷形态及释放风险分析 裴婷婷,李如忠,高苏蒂,罗月颖 (548)

桑沟湾表层沉积物性质及对磷的吸附特征 朱佳美,曹晓燕,刘素美,王丽莎,杨桂朋,葛成凤,路敏 (558)

苏州市老城区降雨径流颗粒物粒径分布及污染物赋存形态 李淮,吴玮,田永静,黄天寅 (565)

洪泽湖有毒和无毒微囊藻丰度及其与环境因子之间的相关分析 李大命,张彤晴,唐晟凯,段翠兰,杨俊虎,穆欢,刘小维 (573)

三峡库区消落带水体CDOM中电荷转移配合物对其紫外-可见吸收光谱的影响 江韬,梁俭,张慕雪,王定勇,魏世强,卢松 (580)

pH对高锰酸钾氧化降解苯胺类化合物动力学的影响 王辉,孙波,关小红 (588)

EDTA对Pd/Fe体系还原脱氯2,4-D的影响 周红艺,聂亚中,陈勇,雷双健 (595)

镍铝层状氧化物薄膜电极的制备及其除盐性能 王婷,朱春山,胡承志 (602)

微生物对砷的氧化还原竞争 杨婷婷,柏耀辉,梁金松,霍咏,王明星,袁林江 (609)

处理水产养殖污水潜流湿地中的厌氧氨氧化菌群特征 曾宪磊,刘兴国,吴宗凡,时旭,陆诗敏 (615)

污水回用中主要病原菌解析及其紫外消毒效应 景明,王磊 (622)

异养硝化-好氧反硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 强化连续流反应器中微生物群落结构解析 邵基伦,曹刚,李紫惠,黄郑郑,罗恺,莫渊辉 (630)

基于新一代测序技术的A²O与BIOLAK活性污泥宏基因组比较分析 田美,刘汉湖,申欣 (638)

1株海洋异养硝化-好氧反硝化菌的分离鉴定及其脱氮特性 孙庆花,于德爽,张培玉,林学政,李津 (647)

纳米Ni/Fe用于去除染料生产废水二级生物处理出水中AOX和色度的研究 舒小铭,徐灿灿,刘锐,赵远,陈吕军 (655)

3BER-S工艺用于再生水深度脱氮同步去除PAEs的可行性 徐鹏程,郝瑞霞,张娅,王冬月,钟丽燕,徐浩丹 (662)

合成时间对钛酸盐纳米材料的影响及其吸附水中铅的性能研究 范功端,陈丽茹,林茹晶,林茜,苏昭越,林修咏 (668)

芦苇秸秆生物炭对水中菲和1,1-二氯乙烯的吸附特性 吴晴雯,孟梁,张志豪,罗启仕,杨洁 (680)

芦苇基和污泥基生物炭对水体中诺氟沙星的吸附性能 张涵瑜,王兆炜,高俊红,朱俊民,谢超然,谢晓芸 (689)

季节性温度升高对落干期消落带土壤氮矿化影响 林俊杰,张帅,刘丹,周斌,肖晓君,马慧燕,于志国 (697)

增温及秸秆施用对冬小麦田土壤呼吸和酶活性的影响 陈书涛,桑琳,张旭,胡正华 (703)

基于GIS的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征 王幼奇,白一茹,王建宇 (710)

不同产地硅藻土原位控制土壤镉污染差异效应与机制 朱健,王平,林艳,雷明婧,陈仰 (717)

紫色土对邻苯二甲酸二甲酯的淋溶吸持特征及影响因素 王强,宋娇艳,曾微,王法 (726)

几种修复措施对Cd淋失及土壤剖面运移影响 刘孝利,曾昭霞,铁柏清,陈求稳,魏祥东 (734)

河北邯郸钢铁冶炼区周边麦田土和小麦籽粒的多环芳烃含量及其组分谱特征 吴迪,汪宜龙,刘伟健,陈源琛,付晓芳,陶澍,刘文新 (740)

湿生环境中丛枝菌根(AM)对香蒲耐Cd胁迫的影响 罗鹏程,李航,王曙光 (750)

溴酸盐对水生生物的急性毒性效应 王执伟,刘冬梅,张文娟,崔福义 (756)

自组装哑铃状Fe₃O₄微/纳米材料对十溴联苯的热催化降解 黄鑫辰,宗刚,刘焯焯,芦会杰,李倩倩,李宾克,赵彦辉,苏贵金 (765)

盐度对准好氧矿化垃圾生物反应器渗滤液处理及N₂O产生的影响 李卫华,孙英杰,刘子梁,马强,杨强 (775)

污泥直接干化尾气中恶臭污染物重要性评价:以指标权重评分法为例 丁文杰,陈文和,邓明佳,罗辉,李琳,刘俊新 (782)

《环境科学》征订启事(557) 《环境科学》征稿简则(594) 信息(419,442,781)

中田河流域景观异质性对水体总氮浓度影响研究

王晶萍¹, 李兆富^{1*}, 刘红玉², 王刚¹, 辛强¹

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

摘要: 土地利用变化使输移至河流的营养盐负荷发生变化从而导致地表水质变化. 研究景观异质性对营养负荷的影响程度对改善水质的最佳管理措施至关重要. 本研究从 2013 年 1~12 月, 对中田河流域干支流水系 20 个监测点的地表水总氮浓度进行了周年定点监测, 考虑到流域单元的嵌套关系, 选择 7 个土地利用结构和 13 个景观格局指数, 探讨了景观异质性对中田河流域水体总氮浓度的影响. 研究表明: ①建设用和草地对总氮浓度有重大影响, 表现为建设用地会恶化水质, 而草地可以改善水质; ②景观斑块-形状指数、景观斑块-面积指数和建设用地是景观尺度上影响流域总氮浓度的主要因素; ③回归分析进一步显示建设用地和景观斑块-面积指数对总氮浓度的贡献分别是 67.31% 和 32.69%.

关键词: 总氮; 景观异质性; 土地利用结构; 多元回归; 主成分分析; 中田河流域

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)02-0527-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.02.017

Influence of Landscape Heterogeneity on Total Nitrogen Concentration in Zhongtian River Watershed

WANG Jing-ping¹, LI Zhao-fu^{1*}, LIU Hong-yu², WANG Gang¹, XIN Qiang¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. College of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: Nutrient loading into rivers is generally changed by human-induced land use changes and can lead to surface water quality changes. Understanding the extent to which landscape heterogeneity influences nutrient loading is critical to the development of best-management practices aimed at water-quality improvement. In this study, the year-round concentrations of total nitrogen were monitored from January 2013 to December 2013 in the 20 hydrological stations of Zhongtian River. Considering the nested relationship of watershed unit, seven land use structures and 13 landscape pattern indexes were chosen, and Pearson correlation analysis, principal component analysis and multiple regression analysis were used to explore the effects of land use pattern on total nitrogen concentrations in Zhongtian River. The results showed that: ① Construction land and grasslands had a significant impact on total nitrogen concentration, construction land would worsen the water quality, while grasslands could improve water quality; ② Landscape patch-shape index, landscape patch-area index and construction land were the main factors affecting the total nitrogen concentration in landscape scale; ③ Regression analysis showed that the construction land and landscape patch-area index contributions to total nitrogen concentrations were 67.31% and 32.69%, respectively.

Key words: total nitrogen; landscape heterogeneity; land-use structure; multivariate regression; principal component analysis; Zhongtian River watershed

流域土地利用景观异质性和河流水质密切相关^[1]. 利用流域土地利用景观格局指数可以直接从景观特征与空间变化入手, 分析其与河流水质的空间关系, 为河流生态系统管理提供了新的方法和手段^[2]. 使用与水质显著相关的景观格局指数作为景观尺度上的景观环境指标, 可以直接反映水质变化的原因, 对于水质监测、流域管理等有重要的意义.

目前, 国内外已有相关研究分析了景观组成^[3, 4] (森林、城镇、农田等)、景观空间结构^[5] (不同类型斑块的大小、形状和分布等) 以及不同景观研究尺度^[6, 7] (河岸带、流域尺度等) 对水质的影响. 由于流域土地利用景观格局与河流水质之间的关系非常复杂, 且景观格局具有明显的尺度依赖性^[8], 不同尺度下景观格局与水质之间的相关关系

有所不同. Sun 等^[9] 指出在河流的嵌套子流域中人类活动和土地利用变化对水质的影响在一定程度上有所不同. 国内目前对于子流域尺度上的研究多集中于独立子流域^[10~12], 很少有研究考虑到流域的嵌套关系. 而在国外, Singh 等^[13] 在嵌套流域研究了溶解有机物的数量和组成, Prestegard 等^[14] 在嵌套流域对径流、悬浮泥沙和污染物来源进行了研究. 由此可见考虑流域的嵌套关系进行相关的研究很有必要.

收稿日期: 2015-07-12; 修订日期: 2015-09-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171071, 41571171); 中央高校基本科研业务费专项(KYZ201522); 江苏高校优势学科建设工程项目

作者简介: 王晶萍(1990~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为流域非点源污染, E-mail: wjpsxnd@163.com

* 通讯联系人, E-mail: lizhaofu@njau.edu.cn

本研究考虑到流域的嵌套关系,运用多元统计技术来探索中田河流域从源头到周围景观对水质的累积影响,目的是为了探究景观异质性和水体总氮浓度之间的关系并确定影响水质总氮浓度变化的主要景观异质性因素,以期为合理调整流域土地利用结构,发展土地利用结构优化技术,改善流域水环境质量提供理论与技术参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区中田河流域位于江苏省溧阳市饮用水源地——天目湖水库的上游,是太湖流域上游典型的低山丘陵小流域。流域集水面积约 47.43 km²,是天目湖地区主要水源涵养地。该区为亚热带季风气候区,干湿冷暖,四季分明,全年平均温度为 17.5℃。年均降雨量 1 149.7 mm。中田河流域内有低山、丘陵、平原等多种地貌类型,主要以低山丘陵为主,地面高程在 17.8~531.5 m 之间,最大坡度 54°,最小坡度 0°,地形较为复杂。采样点位于各子流域的出口(图 1)。

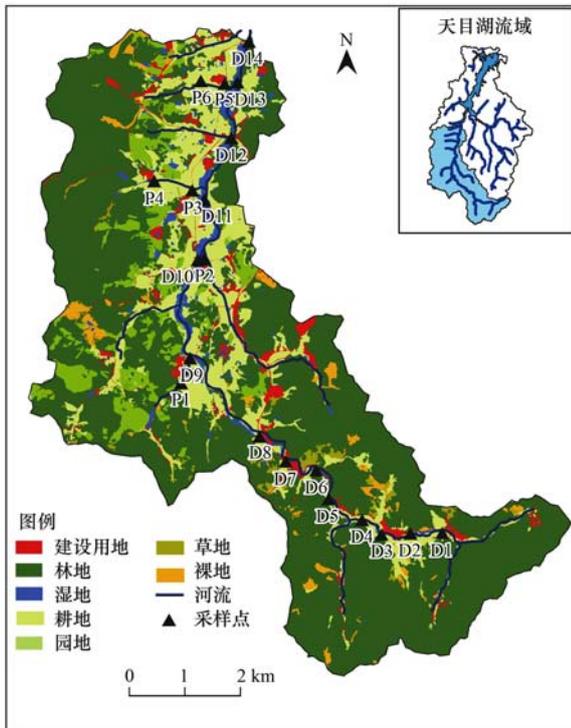


图 1 中田河流域地理位置示意

Fig. 1 Location of Zhongtian River watershed

1.2 研究方法

1.2.1 野外采样与分析

在 2013 年 1 月~2013 年 12 月对典型小流域氮

素输出进行野外监测,监测频率为每月 1 次。采样点就设置在每个典型小流域的河流出口处,使用直立有机玻璃采水器采集水样,然后带回实验室分析。采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法分析水样的总氮浓度。一共有 20 个常规监测断面, D1~D14 是中田河流域干流从上游到下游的 14 个水质监测断面, P1~P6 是中田河支流从上游到下游的 6 个水质监测断面。本研究以每个监测点总氮浓度的年平均值作为氮迁移至水体中的指标。

1.2.2 小流域提取

本研究采用 ArcGIS 的水文分析工具通过填充洼地、计算水流方向以及流水累积量,并以采样点为出口对中田河流域进行小流域单元划分。子流域边界提取利用 ArcGIS 的 ArcHydro 模块完成,基础数据为 1:50 000 地形图数字化构建的 DEM。

1.2.3 土地利用

利用 2009 年 5 月航拍的高精度影像(0.5 m × 0.5 m)获取研究区的土地利用信息。采用 ENVI4.8 对影像数据进行大气辐射校正、几何纠正等预处理。然后运用 ArcGIS 9.3 进行人工目视解译,结合实地调查将研究区土地利用类型分为草地、园地、耕地、建设用地、林地、裸地和湿地 7 大类。利用 ArcGIS 的空间分析功能,把前述提取的 20 个小流域边界和解译的土地利用数据叠加,获得了各小流域的土地利用数据(图 1)。

景观异质性分为土地利用结构和土地利用景观格局。利用 ArcGIS 软件的空间模块计算土地利用结构指标,景观格局指数由 Fragstats 3.3 计算(表 1)。根据流域的嵌套关系,本研究土地利用结构指标和景观格局指数以流经采样点的上游所有范围内土地利用为基础计算。

1.2.4 数据分析

本研究采用 Pearson 相关分析、主成分分析和多元回归分析等统计方法分析景观异质性和河流总氮浓度之间的关系。

Pearson 相关分析量化了总氮浓度、土地利用结构和景观格局指数之间的关系。主成分分析把许多可能相关的指标转化为更少数量的不相关因素。这样可以显示数据的内部结构,更好地解释数据的方差。其结果是少量的因素可以解释大量的原始数据所能解释的信息。最后,利用多元逐步回归分析评估不同的土地利用因素对总氮浓度的相对贡献。所有的数学及相关统计分析通过 Excel 和 SPSS 完成。

表 1 中田河流域土地利用结构和景观格局指数

Table 1 Land-use structure and landscape pattern metrics in the Zhongtian River watershed

指标类型	指标	全名	单位
土地利用结构	Grass	草地面积比例	%
	Graden	园地面积比例	%
	Farm	耕地面积比例	%
	Built	建设用地面积比例	%
	Forest	林地面积比例	%
	Bare	裸地面积比例	%
	Wet	湿地面积比例	%
景观-类型指数	SDI	香农多样性指数	
	SEI	香农均一性指数	
景观斑块-面积指数	TE	边界总长度	m
	MPS	平均斑块大小	hm ²
	PSSD	斑块面积标准差	hm ²
	ED	边缘密度	m·hm ⁻²
	PSCOV	斑块面积均方差	%
	NUMP	斑块数目	m·hm ⁻²
	MEDPS	斑块面积中值	hm ²
景观斑块形状指数	AWMSI	面积加权平均形状指数	
	MSI	平均形状指数	
	MPAR	平均周长-面积比率	
	MPFD	平均斑块分维数	
	AWMPFD	面积加权平均形状分维数	

2 结果与分析

2.1 土地利用和总氮浓度的空间分布特征

如表 2 所示,中田河流域各类用地面积比例差

异较大,林地具有最大的面积比率(66.64%),其次为耕地(16.87%)、建设用地(8.8%)和园地(6.25%),湿地和裸地的面积比率分别为2.82%和2.31%。草地具有最小的面积比例(1.17%)。总体

表 2 中田河流域特征及总氮浓度汇总

Table 2 Summary of watershed characteristics and measured total N concentrations in the Zhongtian River watershed

流域编号	面积 /km ²	总氮 /mg·L ⁻¹	土地利用类型比例/%						
			Grass	Garden	Farm	Built	Forest	Bare	Wet
D1	4.16	3.765	0.87		3.95	3.29	91.04	0.77	0.08
D2	4.45	3.564	0.94		6.18	3.15	88.37	0.95	0.41
D3	6.42	3.358	0.98		9.69	3.11	84.44	1.32	0.47
D4	7.68	3.178	1.69	0.07	10.33	2.95	82.45	2.01	0.51
D5	11.59	3.691	1.13	0.05	8.51	2.53	84.78	2.49	0.52
D6	13.29	2.982	1.47	0.04	8.36	2.31	84.61	2.59	0.62
D7	13.81	3.026	2.01	0.04	8.45	2.65	83.68	2.50	0.67
D8	15.19	2.924	2.48	0.04	8.60	2.87	82.73	2.51	0.79
D9	18.03	2.329	2.32	0.56	11.09	3.12	79.39	2.31	1.21
D10	28.25	2.215	1.68	6.23	12.38	2.91	72.45	2.55	1.80
D11	34.34	2.745	1.41	5.85	15.15	3.65	69.27	2.50	2.17
D12	41.91	2.344	1.30	6.38	15.55	3.65	68.48	2.23	2.42
D13	45.78	2.287	1.20	6.07	16.45	3.81	67.70	2.09	2.68
D14	47.43	2.249	1.17	6.25	16.87	3.93	66.64	2.31	2.82
P1	1.91	2.046	2.24	18.06	4.46	1.31	71.58	0.81	1.54
P2	4.69	7.000	0.04	3.90	20.47	8.37	63.51	2.82	0.89
P3	4.34	1.749	0.85	7.60	12.19	1.67	76.28	0.06	1.35
P4	3.72	1.735	0.99	6.44	5.07	1.82	84.83	0.07	0.79
P5	1.81	4.439	0.31	2.66	18.08	6.05	71.07	0.75	1.07
P6	1.66	4.672	0.34	2.91	13.12	5.54	76.38	0.82	0.89

来说,中田河流域的 20 个子流域大多以林地(最大值为 91.04%)和耕地(最大值为 20.47%)为主. 从上游到下游的 20 个子流域,草地、园地、湿地所占面积比例呈上升趋势,耕地在 D9~D14、P2、P5 这 8 个流域所占的比例相对较大,其它各流域相差不大,这说明中田河流域的耕地主要集中在流域的中下游,建设用地在流域的 D1~D8 流域所占的面积较大,其余流域则变化相对平稳,这说明中田河流域的建设用地主要分布于流域的上游,而整个流域中裸地面积比例则分布较为均匀.

本研究中所有监测点的总氮浓度的平均值为 $3.115 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 总氮浓度的最大值 $7.000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 位于 P2 流域,最小值 $1.735 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 位于 P4 流域. 整体来说,总氮浓度从上游到下游有减小趋势.

2.2 总氮浓度与景观异质性的关系

表 3 中田河流域土地利用结构和景观格局指数的 Pearson 相关分析¹⁾

Table 3 Results of Pearson correlation analysis for land-use structure and landscape pattern metrics in the Zhongtian River watershed

	总氮	Grass%	Garden%	Farm%	Built%	Forest%	Bare%	Wet%	SDI	SEI	AWMSI
总氮	1										
Grass%	-0.614 **	1									
Garden%	-0.344	0.023	1								
Farm%	0.356	-0.428	-0.096	1							
Built%	0.842 **	-0.648 **	-0.223	0.744 **	1						
Forest%	-0.098	0.192	-0.506 *	-0.832 **	-0.509 *	1					
Bare%	0.161	0.359	-0.448	0.366	0.220	-0.273	1				
Wet%	-0.416	0.105	0.504 *	0.589 **	0.062	-0.808 **	0.255	1			
SDI	0.038	-0.124	0.506 *	0.819 **	0.449 *	-0.973 **	0.234	0.782 **	1		
SEI	0.038	-0.123	0.505 *	0.819 **	0.450 *	-0.973 **	0.234	0.782 **	10.000 **	1	
AWMSI	-0.505 *	0.540 *	0.166	0.274	-0.183	-0.447 *	0.615 **	0.761 **	0.402	0.403	1
MSI	0.469 *	-0.400	0.033	0.097	0.390	-0.080	-0.447 *	-0.356	0.187	0.187	-0.713 **
MPAR	0.306	-0.457 *	0.200	-0.272	0.119	0.255	-0.804 **	-0.512 *	-0.194	-0.194	-0.839 **
MPFD	0.369	-0.376	0.163	-0.060	0.245	0.019	-0.606 **	-0.399	0.084	0.083	-0.760 **
AWMPFD	-0.458 *	0.650 **	0.272	0.200	-0.207	-0.457 *	0.619 **	0.692 **	0.428	0.428	0.955 **
TE	-0.380	0.235	0.070	0.506 *	0.031	-0.565 **	0.567 **	0.867 **	0.508 *	0.508 *	0.887 **
ED	0.497 *	-0.390	0.287	0.283	0.519 *	-0.379	-0.353	-0.073	0.444 *	0.443	-0.478 **
MPS	-0.390	0.516 *	-0.357	0.171	-0.231	-0.101	0.775 **	0.422	0.079	0.079	0.780 **
NUMP	-0.401	0.224	0.077	0.477 *	0.004	-0.533 *	0.539 *	0.859 **	0.471 *	0.471 *	0.882 **
MEDPS	-0.400	0.213	0.113	0.483 *	0.009	-0.555 *	0.529 *	0.868 **	0.486 *	0.486 *	0.893 **
PSCOV	-0.596 **	0.528 *	-0.152	-0.001	-0.394	0.011	0.500 *	0.471 *	-0.046	-0.045	0.845 **
PSSD	-0.496 *	0.527 *	-0.234	0.175	-0.261	-0.148	0.689 **	0.544 *	0.123	0.124	0.888 **
	MSI	MPAR	MPFD	AWMPFD	TE	ED	MPS	NUMP	MEDPS	PSCOV	PSSD
MSI	1										
MPAR	0.822 **	1									
MPFD	0.972 **	0.916 **	1								
AWMPFD	-0.601 **	-0.751 **	-0.631 **	1							
TE	-0.659 **	-0.809 **	-0.742 **	0.762 **	1						
ED	0.879 **	0.719 **	0.870 **	-0.321	-0.450 *	1					
MPS	-0.755 **	-0.945 **	-0.859 **	0.672 **	0.764 **	-0.769 **	1				
NUMP	-0.689 **	-0.803 **	-0.760 **	0.749 **	0.997 **	-0.477 *	0.755 **	1			
MEDPS	-0.682 **	-0.799 **	-0.755 **	0.756 **	0.990 **	-0.470 *	0.754 **	0.989 **	1		
PSCOV	-0.884 **	-0.830 **	-0.897 **	0.719 **	0.763 **	-0.803 **	0.842 **	0.782 **	0.768 **	1	
PSSD	-0.811 **	-0.924 **	-0.885 **	0.771 **	0.846 **	-0.745 **	0.955 **	0.847 **	0.842 **	0.949 **	1

1) 各指标的全称见表 1; ** 表示在 0.01 水平上显著相关; * 表示在 0.05 水平上显著相关

为了揭示总氮浓度与景观异质性之间的关系,对各景观异质性指标与总氮浓度进行了 Pearson 相关分析. 如表 3 所示,土地利用结构中建设用地比例和总氮浓度在 0.01 水平上显著相关,草地比例在 0.05 水平上与总氮浓度显著相关. 景观格局指数分为三类,分别表示景观-类型指数、景观斑块-面积指数和景观斑块-形状指数. 景观斑块-面积指数中斑块边缘密度(ED)、斑块大小变异系数(PSCOV)和斑块面积标准差(PSSD)在 0.05 水平上与总氮浓度显著相关. 景观斑块-形状指数中面积加权平均形状指数(AWMSI)、平均形状指数(MSI)、面积加权平均斑块分维数(AWMPFD)与总氮浓度在 0.05 水平上显著相关. 另外,耕地比例、湿地比例、MPAR、MPFD、TE、MPS、NUMP 和 MEDPS 与总氮浓度的相关系数都大于 0.3.

表 3 中可以看出总氮浓度和建设用地比例之间显著正相关,与耕地比例之间有明显的正相关. 总氮浓度与草地比例显著负相关,与园地比例、湿地比例有明显的负相关. 中田河流域中大部分景观格局指数与总氮浓度呈负相关. 这些相关性显然证明了土地利用与总氮浓度显著相关,而研究区具有复杂几何形状的土地利用可能减轻总氮负荷.

土地利用结构和景观格局指数也具有一定的相关性,例如土地利用结构(Garden%、Farm%、Built%、Wet%)和香农指数(SDI、SEI)显著正相关,而 Forest% 与香农指数显著负相关. 这个结果表明土地利用集约化并不总是导致景观格局简单化,特别是景观-类型异质性. 因此,为了进一步评估土地利用和总氮浓度之间的关系,维数的聚集和减少是必不可少的.

2.3 主要景观异质性指数的识别

选用相关分析中与总氮浓度显著相关的土地利用结构与景观格局指数进行主成分分析,分析过程中采用极大方差旋转来最大化主要成分载荷的方差. 表中的特征值表示每个 PC 的测量意义. 表 4 列出了提取出来的 3 个主要成分,它们的累计特征值解释了总方差的 94.870%.

如表 4 所示,在 3 个主要成分中,PC1 解释了总方差的 37.472%,并与 AWMSI 和 AWMPFD 具有强烈的正载荷,这代表了景观斑块-形状指数的影响;PC2 解释了总方差的 36.854%,并与 ED 有明显的正载荷,这表明 PC2 代表景观斑块-面积指数的影响;PC3 解释了总方差的 20.545%,并与建设用地面积比例有明显正载荷,因此这个成分代表着增加建设用地对总氮浓度的影响.

表 4 中田河流域土地利用结构和景观格局指数的
重要主成分的载荷¹⁾

Table 4 Loadings of land-use structure and landscape pattern metrics on significant principal components for the Zhongtian River watershed

指标	PC1	PC2	PC3
Grass%	0.549	0.079	-0.782
Built%	0.037	-0.306	0.917
AWMSI	0.899	0.405	-0.066
MSI	-0.394	-0.862	0.153
AWMPFD	0.950	0.193	-0.178
ED	-0.101	-0.935	0.292
PSCOV	0.589	0.755	-0.193
PSSD	0.686	0.678	-0.101
特征值	5.386	1.207	0.996
总方差/%	37.472	36.854	20.545
累积方差/%	37.472	74.325	94.870

1) 黑体字表示强载荷

2.4 不同景观异质性指数对总氮浓度的影响与贡献分析

多元回归分析按照逐步测试方法的标准和选择 SPSS 软件提供的向前算法. 如表 5 所示,有两个主要成分的显著性水平 < 0.05 , 分别是 PC3 和 PC2. 模型 1 仅把 PC3 作为预测值且占总氮浓度变化的 70%. 通过增加其它景观因素,模型的精度明显增加. 模型 2 可以解释总氮浓度变化的 78%. 尽管很难确定每个变量对总氮浓度的绝对贡献,但可以通过对比其标准化回归系数评估它们的相对贡献. PC3 和 PC2 对总氮浓度的贡献分别是 67.31% 和 32.69%. PC3 与总氮浓度有明显的正相关,这表明增加建设用地会导致总氮负荷增加;PC2 与总氮的负相关表明增加景观斑块的大小会减小总氮负荷.

3 讨论

3.1 土地利用结构和景观格局的关系

土地利用面积集约化在景观水平上会改变景观格局^[15]. 本研究中 PC3 可以解释为建设用地比例,这个指数直接受人类引起的土地利用类型的影响,因此它们可以作为流域尺度上土地利用结构的替代指标(表 5). 相关分析表明土地利用结构和大部分景观格局指数有关(表 3). 土地利用结构中园地比例、耕地比例、建设用地比例与由 SDI 和 SEI 代表的景观-类型指数呈正相关,这个结果表明在流域尺度中土地集约利用可以通过增加农田,居住区提高土地利用的多样性. 景观斑块-面积指数表征了草地和裸地的破碎化程度,如减小 MPS 相当于增加 ED. 本研究结果表明草地比例和裸地比例与 MPS 有明显的正相关,这表明土地利用集约化对景观斑块大小有显著的负面影响. 本研究中建设用地比例和景观破碎度有明显的相关性,这可能是由于分散的农村地区通过扩展道路来连接草地和裸地,由此破碎化了草地和裸地,从而通过加快径流和土壤侵蚀产生非点源污染.

3.2 土地利用结构对总氮浓度的影响

营养盐的负荷受自然和人为因素的综合影响,它们的相互影响在不同的时间和空间尺度上会发生变化^[16]. 许多研究发现建设用地是影响氮浓度的重要因素^[17-19]. 本研究相关分析结果表明总氮浓度与人为引起的土地利用类型显著正相关,如建设用地比例. 这与 Wilson 等^[20]的研究相同. 除了通过点源污染增加排放到河流中的污染物之外,城镇化的一个主要特点是不透水地面比例的增大. 暴雨

表 5 中田河流域以成分因素作为预测变量总氮浓度作为相应变量的回归分析
Table 5 Regression results with component factors as predictor variables and total N concentration as response variable for the Zhongtian River watershed

模型		非标准化系数		标准系数 Beta	<i>t</i>	<i>P</i>	偏相关	<i>R</i>	<i>F</i>
		B	SE						
1	(常量)	3.11	0.20		15.40	0.00		0.70	17.27
	PC3	0.86	0.21	0.70	4.16	0.00	0.70		
2	(常量)	3.12	0.18		17.00	0.00		0.78	12.98
	PC3	0.86	0.19	0.70	4.59	0.00	0.74		
	PC2	-0.42	0.19	-0.34	-2.22	0.04	-0.47		

时期城镇地区在失去自然植被对污染物的截留、吸收作用以及土壤的自然下渗过程的情况下,大量的污染物会通过不透水地面在短时间内进入河流^[21]。相反的,Brett 等^[22]在其研究区发现由于污水处理厂的存在或没有工业废水排入流域时建设用地并没有和氮显著相关。本研究结果表明建设用地是影响总氮浓度的主要因素,而中田河流域的农业用地面积比例并不是引起水质变化的主要原因。尽管有研究表明农业用地比例与许多水质指标有负相关性^[23]。但文献[24~26]也指出农业用地与降解水质之间有明显的正相关。这可能取决于研究区的耕作方式和气候特征^[25]。本研究结果可以解释为由于中田河流域中农业用地基本上靠近河道,导致其对气候条件或地质条件的变化响应较为敏感从而导致农业用地与水质之间的关联抵消或掩盖。同时,从相关分析可以看出湿地面积比例与总氮浓度有明显的负相关性,表面湿地对流域氮输出具有显著的截留效果,这与李兆富等^[27]的研究结果一致。

3.3 景观格局对总氮浓度的影响

许多研究发现在流域中景观几何结构和格局越是复杂越可以减轻邻近河流的负面影响^[28]。然而斑块密度和水质之间的关系尚不清楚。Uuemaa 等^[29]在爱沙尼亚河流中的研究表明 ED 和总氮浓度之间呈负相关,而 Lee 等^[25]在韩国的研究表明 ED 和总氮浓度之间呈明显的正相关。相关分析结果表明 ED 和总氮浓度在 0.05 水平上具有显著正相关。由此可以说明土地利用和水质之间的关系是复杂的,同时可能存在区域差异性。斑块密度与土地利用的破碎程度有关,其值越高,意味着流域内不同类型的景观斑块数量越多,越不利于控制污染物的扩散和迁移,即在一定程度上反映各汇水区非点源污染状况。景观高度破碎的土地利用不能有效地过滤营养盐负荷。有研究认为景观-类型指数与总氮的相关性较为明显,但是在本研究中景观-类型指数并没有与总氮浓度表现出明显的相关性,这可能

是由于本研究区土地利用类型的边缘或形状很复杂,其能量流和物质流很难通过单一指数进行刻画。景观斑块-面积指数和景观斑块-形状指数的大多数指数与总氮浓度之间有明显的负相关性,这个结果说明总氮浓度主要与土地利用的配置和多样性的负面影响有关。回归分析结果指出土地利用结构和景观斑块-面积指数是影响流域水质的关键景观因子,它们可以更有效地解释中田河总氮浓度变化特征。

4 结论

(1)流域景观异质性对水质具有重要的影响,流域的水质与土地利用结构和景观格局有密切的关系。中田河河水总氮浓度受周围土地利用方式的影响,具有很强的空间变异性,表现为建设用地会恶化水质,而草地可以改善水质。

(2)中田河流域中景观斑块-面积指数和土地利用结构是影响水质的关键因素,增加土地利用斑块面积对水质有明显的改善作用。中田河流域水质的恶化与土地利用类型的斑块聚合程度以及复杂程度有很大的关联性,表现为增加土地利用斑块的形状复杂性和不规则性对其水质状况有改善效果。

(3)中田河水环境治理中,需要进一步优化区域景观格局,在流域可持续发展中需适当增加林地和草地等汇景观面积,降低农田与建设用地等源景观比重。景观格局优化时,需要避免景观破碎化,保持斑块形状结构,从源头上减轻氮元素对流域水质的污染,改善水质状况。

参考文献:

- [1] 韩黎阳,黄志霖,肖文发,等. 三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响[J]. 环境科学, 2014, 35(3): 1091-1097.
- [2] 赵鹏,夏北成,秦建桥,等. 流域景观格局与河流水质的多变量相关分析[J]. 生态学报, 2012, 32(8): 2331-2341.
- [3] 曹芳芳,李雪,王东,等. 新安江流域土地利用结构对水质的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(7): 2582-2587.
- [4] Li H Q, Liu L M, Ji X. Modeling the relationship between

- landscape characteristics and water quality in a typical highly intensive agricultural small watershed, Dongting lake basin, south central China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, **187**(3): 1-12.
- [5] 张大伟, 李杨帆, 孙翔, 等. 入太湖河流武进港的区域景观格局与河流水质相关性分析[J]. *环境科学*, 2010, **31**(8): 1775-1783.
- [6] 欧洋, 王晓燕, 耿润哲. 密云水库上游流域不同尺度景观特征对水质的影响[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(5): 1219-1226.
- [7] Zhou T, Wu J G, Peng S L. Assessing the effects of landscape pattern on river water quality at multiple scales: A case study of the Dongjiang River watershed, China [J]. *Ecological Indicators*, 2012, **23**: 166-175.
- [8] 李艳利, 徐宗学, 李艳粉. 浑太河流域多尺度土地利用/景观格局与水质响应关系初步分析[J]. *地球与环境*, 2012, **40**(4): 573-583.
- [9] Sun R H, Chen L D, Chen W L, *et al.* Effect of land-use patterns on total nitrogen concentration in the upstream regions of the Haihe River Basin, China[J]. *Environmental Management*, 2013, **51**(1): 45-58.
- [10] 孙然好, 陈利顶, 王伟, 等. 基于“源”“汇”景观格局指数的海河流域总氮流失评价[J]. *环境科学*, 2012, **33**(6): 1784-1788.
- [11] 孙芹芹, 黄金良, 洪华生, 等. 九龙江流域城镇建设用地与河流水质关系研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(10): 2849-2854.
- [12] 包姗姗, 李崇巍, 王祖伟, 等. 天津于桥水库流域水体氮磷空间分异与景观格局的关系[J]. *农业环境科学学报*, 2014, **33**(8): 1609-1616.
- [13] Singh S, Inamdar S, Mitchell M. Changes in dissolved organic matter (DOM) amount and composition along nested headwater stream locations during baseflow and stormflow[J]. *Hydrological Processes*, 2015, **29**(6): 1505-1520.
- [14] Prestegard K L, Occhi M E, Blanchet Z. A nested watershed study of streamflow, suspended sediment, and contaminant sources in the urbanized Coastal Plain [A]. In: *Goldschmidt Conference Abstracts 2010*[C]. 2010. A831.
- [15] Concepción E D, Díaz M, Baquero R A. Effects of landscape complexity on the ecological effectiveness of agri-environment schemes[J]. *Landscape Ecology*, 2008, **23**(2): 135-148.
- [16] Baker A. Land use and water quality [J]. *Hydrological Processes*, 2003, **17**(12): 2499-2501.
- [17] Guo Q H, Ma K M, Yang L, *et al.* Testing a dynamic complex hypothesis in the analysis of land use impact on lake water quality [J]. *Water Resources Management*, 2010, **24**(7): 1313-1332.
- [18] Kang J H, Lee S W, Cho K H, *et al.* Linking land-use type and stream water quality using spatial data of fecal indicator bacteria and heavy metals in the Yeongsan river basin [J]. *Water Research*, 2010, **44**(14): 4143-4157.
- [19] Tran C P, Bode R W, Smith A J, *et al.* Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA) [J]. *Ecological Indicators*, 2010, **10**(3): 727-733.
- [20] Wilson C, Weng Q H. Assessing surface water quality and its relation with urban land cover changes in the lake calumet area, Greater Chicago [J]. *Environmental Management*, 2010, **45**(5): 1096-1111.
- [21] 黄金良, 杜腾飞, 欧志丹, 等. 澳门城市小流域地表径流污染特征分析[J]. *环境科学*, 2006, **27**(9): 1753-1759.
- [22] Brett M T, Arhonditsis G B, Mueller S E, *et al.* Non-point-source impacts on stream nutrient concentrations along a forest to urban gradient[J]. *Environmental Management*, 2005, **35**(3): 330-342.
- [23] Tong S T Y, Chen W L. Modeling the relationship between land use and surface water quality [J]. *Journal of Environmental Management*, 2002, **66**(4): 377-393.
- [24] Bahar Md M, Ohmori H, Yamamuro M. Relationship between river water quality and land use in a small river basin running through the urbanizing area of Central Japan [J]. *Limnology*, 2008, **9**(1): 19-26.
- [25] Lee S W, Hwang S J, Lee S B, *et al.* Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, **92**(2): 80-89.
- [26] Fedorko E J, Pontius R G Jr, Aldrich S P, *et al.* Spatial distribution of land type in regression models of pollutant loading [J]. *The Biological Bulletin*, 2004, **207**(2): 173.
- [27] 李兆富, 刘红玉, 李恒鹏. 天目湖流域湿地对氮磷输出影响研究[J]. *环境科学*, 2012, **33**(11): 3753-3759.
- [28] Hwang S J, Lee S W, Son J Y, *et al.* Moderating effects of the geometry of reservoirs on the relationship between urban land use and water quality[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, **82**(4): 175-183.
- [29] Uuemaa E, Roosaare J, Mander U. Scale dependence of landscape metrics and their indicator value for nutrient and organic matter losses from catchments[J]. *Ecological Indicators*, 2005, **5**(4): 350-369.

CONTENTS

Editor's comment	(403)
Risk Assessment and Risk Management of Chemicals in China	WANG Tie-yu, ZHOU Yun-qiao, LI Qi-feng, <i>et al.</i> (404)
Application of Land-use Regression Models in Spatial-temporal Differentiation of Air Pollution	WU Jian-sheng, XIE Wu-dan, LI Jia-cheng (413)
Ecological Footprint Evolution Characteristics and Its Influencing Factors in China from 2000 to 2010	HUANG Bao-rong, CUI Shu-hong, LI Ying-ming (420)
Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosol in PM _{2.5} During Winter in Guanzhong Area	TIAN Peng-shan, CAO Jun-ji, HAN Yong-ming, <i>et al.</i> (427)
Chemical Composition of the Single Particle Aerosol in Winter in Nanning Using SPAMS	LIU Hui-lin, SONG Hong-jun, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> (434)
Correlation Analysis Between Characteristics of VOCs and Ozone Formation Potential in Summer in Nanjing Urban District	YANG Xiao-xiao, TANG Li-li, ZHANG Yun-jiang, <i>et al.</i> (443)
Seasonal Dynamics of Airborne Pollens and Its Relationship with Meteorological Factors in Beijing Urban Area	MENG Ling, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (452)
Mercury Distribution Characteristics and Atmospheric Mercury Emission Factors of Typical Waste Incineration Plants in Chongqing	DUAN Zhen-ya, SU Hai-tao, WANG Feng-yang, <i>et al.</i> (459)
Characteristics of Atmospheric Dry and Wet Deposition of Trace Metals in the Hinterland of the Three Gorges Reservoir, China	ZHANG Liu-yi, LIU Yuan, QIAO Bao-qing, <i>et al.</i> (466)
Monitoring and Analysis of Stable Isotopes of the Near Surface Water Vapor in Changsha	XIE Yu-long, ZHANG Xin-ping, YAO Tian-ci, <i>et al.</i> (475)
Mercury Transport from Glacier to Runoff in Typical Inland Glacial Area in the Tibetan Plateau	SUN Xue-jun, WANG Kang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (482)
Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Core Sediments from Lakes of Tibet	GUO Bi-xi, LIU Yong-qin, ZHANG Fan, <i>et al.</i> (490)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Inflow Rivers to Northeastern Lake Tanganyika	YU Cheng, CHEN Shuang, ZHANG Lu (499)
Over One Hundred Year Sediment Record of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lake Bosten, Xinjiang	SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> (507)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Environmental Media from Qingbang Island, Zhoushan, China	ZHENG Huang, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> (513)
Transformation of Non-point Source Soluble Nitrogen in Simulated Drainage Ditch	LI Qiang-kun, SONG Chang-ji, HU Ya-wei, <i>et al.</i> (520)
Influence of Landscape Heterogeneity on Total Nitrogen Concentration in Zhongtian River Watershed	WANG Jing-ping, LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, <i>et al.</i> (527)
Nitrogen Release from Sediment Under Dry and Rainy Season Alternation and Its Contribution to N Export from Xiangxi Watershed in Jiangxi Province	HAN Ning, HAO Zhuo, XU Ya-juan, <i>et al.</i> (534)
Spatial and Temporal Distributions of Nitrogen and Phosphate in the Chaohu Lake	XI Shan-shan, ZHOU Chun-cai, LIU Gui-jian, <i>et al.</i> (542)
Phosphorus Fractions and Release Risk in Surface Sediments of an Agricultural Headwater Stream System in Hefei Suburban, China	PEI Ting-ting, LI Ru-zhong, GAO Su-di, <i>et al.</i> (548)
Surface Property and Sorption Characteristics of Phosphorus onto Surface Sediments in Sanggou Bay	ZHU Jia-mei, CAO Xiao-yan, LIU Su-mei, <i>et al.</i> (558)
Particle Size Distribution and Pollutant Speciation Analyses of Stormwater Runoff in the Ancient Town of Suzhou	LI Huai, WU Wei, TIAN Yong-jing, <i>et al.</i> (565)
Abundance of Toxic and Non-toxic <i>Microcystis</i> sp. in Lake Hongze and Its Correlation with Environmental Factors	LI Da-ming, ZHANG Tong-qing, TANG Sheng-kai, <i>et al.</i> (573)
Effect of Charge-Transfer Complex on Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Property of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Waters of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas	JIANG Tao, LIANG Jian, ZHANG Mu-xue, <i>et al.</i> (580)
Influence of pH on Kinetics of Anilines Oxidation by Permanganate	WANG Hui, SUN Bo, GUAN Xiao-hong (588)
Effects of EDTA on the Reductive Dechlorination of 2,4-D by Pd/Fe	ZHOU Hong-yi, NIE Ya-zhong, CHEN Yong, <i>et al.</i> (595)
Preparation of NiAl-MMO Films Electrode and Its Capacitive Deionization Property	WANG Ting, ZHU Chun-shan, HU Cheng-zhi (602)
Competitive Microbial Oxidation and Reduction of Arsenic	YANG Ting-ting, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (609)
Community Characteristics of ANAMMOX Bacteria in Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW) for Processing of Aquaculture Waster Water	ZENG Xian-lei, LIU Xing-guo, WU Zong-fan, <i>et al.</i> (615)
Analysis of Pathogenic Bacteria in Reclaimed Water and Impact of UV Disinfection on the Removal of Pathogenic Bacteria	JING Ming, WANG Lei (622)
Analysis of the Microbial Community Structure in Continuous Flow Reactor Enhanced by Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterium <i>Burkholderia</i> sp. YX02	SHAO Ji-lun, CAO Gang, LI Zi-hui, <i>et al.</i> (630)
Comparative Metagenomics of BIOLAK and A ² O Activated Sludge Based on Next-generation Sequencing Technology	TIAN Mei, LIU Han-hu, SHEN Xin (638)
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Strain Isolated from Marine Environment	SUN Qing-hua, YU De-shuang, ZHANG Pei-yu, <i>et al.</i> (647)
Removal of AOX and Chroma in Biologically Treated Effluent of Chemical Dyestuff Wastewater with Nanoscale Ni/Fe	SHU Xiao-ming, XU Can-can, LIU Rui, <i>et al.</i> (655)
Feasibility of 3BER-S Process for the Deep Denitrification in Synch with the Removal of PAEs from Reclaimed Water	XU Peng-cheng, HAO Rui-xia, ZHANG Ya, <i>et al.</i> (662)
Influence of Reaction Time on Titanate Nanomaterials and Its Adsorption Capability for Lead in Aqueous Solutions	FAN Gong-duan, CHEN Li-ru, LIN Ru-jing, <i>et al.</i> (668)
Sorption Characteristics of Phenanthrene and 1,1-Dichloroethene onto Reed Straw Biochar in Aquatic Solutions	WU Qing-wen, MENG Liang, ZHANG Zhi-hao, <i>et al.</i> (680)
Adsorption Characteristics of Norfloxacin by Biochars Derived from Reed Straw and Municipal Sludge	ZHANG Han-yu, WANG Zhao-wei, GAO Jun-hong, <i>et al.</i> (689)
Effect of Seasonal Temperature Increasing on Nitrogen Mineralization in Soil of the Water Level Fluctuating Zone of Three Gorge Tributary During the Dry Period	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, LIU Dan, <i>et al.</i> (697)
Effects of Warming and Straw Application on Soil Respiration and Enzyme Activity in a Winter Wheat Cropland	CHEN Shu-tao, SANG Lin, ZHANG Xu, <i>et al.</i> (703)
Distribution of Urban Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation in Different Functional Zones of Yinchuan City	WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu (710)
Differential Effect and Mechanism of <i>in situ</i> Immobilization of Cadmium Contamination in Soil Using Diatomite Produced from Different Areas	ZHU Jian, WANG Ping, LIN Yan, <i>et al.</i> (717)
Characteristics of Adsorption Leaching and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate in Purple Soil	WANG Qiang, SONG Jiao-yan, ZENG Wei, <i>et al.</i> (726)
Cd Runoff Load and Soil Profile Movement After Implementation of Some Typical Contaminated Agricultural Soil Remediation Strategies	LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, TIE Bai-qing, <i>et al.</i> (734)
Concentrations and Component Profiles PAHs in Surface Soils and Wheat Grains from the Cornfields Close to the Steel Smelting Industry in Handan, Hebei Province	WU Di, WANG Yi-long, LIU Wei-jian, <i>et al.</i> (740)
Effect of Arbuscular Mycorrhiza (AM) on Tolerance of Cattail to Cd Stress in Aquatic Environment	LUO Peng-cheng, LI Hang, WANG Shu-guang (750)
Acute Toxic Effects of Bromate on Aquatic Organisms	WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> (756)
Development of Self-assembled Dumbbell-like Fe ₃ O ₄ Micro/nanomaterial for Application in Thermocatalytic Degradation of Polybrominated Biphenyls	HUANG Xin-chen, ZONG Gang, LIU Ye-xuan, <i>et al.</i> (765)
Impact of Salinity on Leachate Treatment and N ₂ O Releases from Semi-aerobic Aged-refuse Bioreactor	LI Wei-hua, SUN Ying-jie, LIU Zi-liang, <i>et al.</i> (775)
Evaluating the Significance of Odor Gas Released During the Directly Drying Process of Sludge: Based on the Multi-index Integrated Assessment Method	DING Wen-jie, CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, <i>et al.</i> (782)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2016年2月15日 第37卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 2 Feb. 15, 2016

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行