

DOI: 10.5846/stxb201303120406

洪超, 刘茂松, 徐驰, 杨雪姣, 池婷, 田颖. 河流干支流水质与土地利用的相关关系. 生态学报, 2014, 34(24): 7271-7279.

Hong C, Liu M, Xu C, Yang X J, Chi T, Tian Y. Comparative analysis of correlation between water quality and land use pattern of different river hierarchies. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(24): 7271-7279.

河流干支流水质与土地利用的相关关系

洪超^{1,2}, 刘茂松^{2,*}, 徐驰², 杨雪姣², 池婷², 田颖³

(1. 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042; 2. 南京大学生命科学学院, 南京 210093;

3. 江苏省环境科学研究院, 南京 210036)

摘要:为探索不同等级河流水质状况及其对土地利用构成响应的差异,以江苏北部的灌河流域为研究对象,基于 2006—2007 年两个年度灌河及其支流的水质监测数据和研究区的 Landsat TM 影像,在河流两侧长度 0.0—10.0 km、宽度 0.0—0.5 km 的范围内,运用多元回归分析,对研究区干、支流主要水质指标及其与相应土地利用构成的关系进行了研究。结果表明:2006—2007 年间,研究区干流水质总体上显著好于支流,支流的总氮(TN)、总磷(TP)等营养盐指标显著高于干流,而干流的有机污染指标显著高于支流;比较不同观测尺度上土地利用构成对河流水质变化的方差贡献率发现,缓冲区宽度一定时,支流在所有观测尺度上的土地利用构成与水质变化皆存在显著相关关系,而干流仅在缓冲区长度 0.0—4.0 km 的观测尺度上其土地利用构成与水质变化的相关关系显著;缓冲区长度一定时,干、支流河道两侧 0.0—0.3 km 间土地利用状况对水质变化的解释能力较大。同时发现,氮、磷等营养盐浓度多与较大尺度上的土地利用构成相关,而化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)等多与较小尺度上的土地利用构成相关。研究结果显示,有必要区分不同河流等级,选择适宜的观测尺度,分别研究不同水质指标与土地利用构成间的相关关系。

关键词:河流等级;水质;尺度;土地利用构成;面源污染

Comparative analysis of correlation between water quality and land use pattern of different river hierarchies

HONG Chao^{1,2}, LIU Maosong^{2,*}, XU Chi², YANG Xuejiao², CHI Ting², TIAN Ying³

1 Nanjing Institute of Environment Sciences, MEP, Nanjing 210042, China

2 School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

3 Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing 210036, China

Abstract: Water quality deterioration has become a severe environmental problem across the world and has been an urgent concern for the public and government authorities. Non-point source (NPS) pollution caused by land use is recognized as one of the most important impacts on water quality; and agricultural land use is a major source leading to eutrophication. NPS pollutants transfer along river hierarchies and enter lakes/seas eventually. Hydrological processes and ecological characteristics usually vary by river hierarchy, as a result, water quality and land use could manifest various interactions, depending on level of river hierarchies and spatial scale of observation. Using monitoring data of water quality in 2006—2007 and contemporary Landsat TM images, we investigated the responses of water quality to riparian land uses, with respect to main streams vs. branches in Guan River Basin, north Jiangsu Province, China. Multiple linear regression models were used to examine the relationships at the scales ranging from 0.0 to 0.5 km in width and 0.0—10.0 km in length along

基金项目:国家自然科学基金项目(41271197); 国家水体污染控制与治理重大专项(2012ZX07204); 国家林业局林业公益性行业科研专项(200904001)

收稿日期:2013-03-12; 网络出版日期:2014-03-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: msliu@nju.edu.cn

the river channels. We found higher nutrient concentrations but lower organic pollutant concentrations in the branches than the main streams. The main streams showed significantly better water quality than the branches in dry seasons; while their difference was small in wet seasons. With fixed buffering widths, water quality of the main streams had significant correlations with land use only at relatively small (i.e. 0.0—4.0 km) buffering lengths; while for the branches, the correlations were significant at all buffering lengths. With fixed buffering length, the largest variance in water quality was explained by the land use within 0.3 km of the river channels for all the main streams and branches. The concentrations of TN (Total Nitrogen) and TP (Total Phosphorus) were related to land use mostly on larger scales, while such relation was observed only on smaller scales for organic pollutants. The result indicated that it is necessary to study the correlations between land use and water quality in each river system hierarchy, respectively, at appropriate scales.

Key Words: river hierarchy; water quality; scale; land use composition; non-source pollution

沟渠、河流是景观中各种元素运移的重要通道^[1],通过底泥吸附、微生物作用、植物吸收、沉积作用等方式,河道可有效截留和转化 N、P 等营养元素^[2-4]。由于不同类型或等级河流间几何形态、水动力条件和生态特性等的差异性,沟渠、河流对水质的影响往往存在较大差异^[5-6]。河流两侧土地利用状况多被认为是流域水环境变化的主要原因^[7-8],如农业用地之于 N、P 等营养元素对河流的输入等^[9-11];同时相关研究发现,土地利用结构对河流水体水质的影响往往存在一定的尺度依赖性和区位差异性^[12],不同季节特定土地利用方式的水生态效应也可能不同^[13]。

农业景观中不同等级的沟渠、河流水文过程及生态特性等方面往往存在较大差异^[1,14],其水质状况与毗邻的土地利用状况间相关关系也可能发生相应变化,有必要比较研究不同等级河流(沟渠)水质状况与河道两侧土地利用结构相关关系的差异性。

本文通过对江苏北部灌河流域干流和支流主要水质指标与土地利用构成的多尺度响应特征进行比较研究,以期揭示不同等级河流对土地利用构成响应的差异性,为河流分级治理,改善流域水环境质量提供技术与理论参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

灌河位于江苏省盐城市北部、江苏省连云港市南端,上游经六塘河连接盐河、京杭大运河和淮河,中游在响水县县城段与通榆大运河相交,下游经陈家港直入黄海,干流全长 74.5 km,一般河宽 350 m,水深 7—11 m。灌河支流众多,西接六塘河诸水,内

通长江、淮河,外接黄海,具备良好集疏运条件,是江苏省除长江外唯一没有闸坝碍航的天然入海潮汐河道。

本研究的研究区位于灌河流域内的灌南、灌云、响水、涟水、沭阳五县,面积 8316 km²,包括区域内的灌河干流及南六塘河、沂南河、北六塘河等 8 条灌河支流,由连云港市水文局提供的数据显示,研究区干流长年平均流速约为 1.5 m/s,支流长年平均流速约为 0.4 m/s。研究区常年平均气温 14.0 °C,历年平均降水量 883.6 mm,常年无霜期为 220d,主导风向为东南风,气候类型为湿润的季风气候。

1.2 数据来源

水质数据来自江苏省环境科学研究院提供的 2006—2007 年间研究区灌河及其主要支流的 24 个河道监测断面的水质监测数据,监测断面设置在干支流交汇处及城镇等较为大型聚落下游的 0.5—1.0 km 处,监测频率为每两个月 1 次,观测指标主要包括各监测断面每个月超 III 类(GB3838—2002)的溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、化学需氧量(COD_{Cr})、生化需氧量(BOD₅)、氨氮(AN)、总磷(TP)、总氮(TN)、石油类(Oil)、挥发酚(VP)等。水质指标的测定参照《水和废水监测分析方法(第四版)》A 类方法^[15],即国家或行业的标准方法(或与标准方法等效)测定。

影像数据包括成像时间为 2006 年的覆盖研究区的 2 景 Landsat (Land satellite) TM (Thematic mapper) 遥感影像(空间分辨率为 28.5 m),由于本文研究区位于苏北平原地区,景观变化相对较慢,本文采用的 2006 年遥感影像数据基本能够代表 2006 年前后一段时间内该区域的土地利用结构特征。

1.3 研究方法

1.3.1 数据处理

基于 TM 遥感影像,根据研究需要,应用监督分类方法,将研究区土地利用分为聚落用地、农业用地、水体和其它用地 4 种类型。研究区地处平原农区,河道两侧林地较少,且多为农田林网的一部分,属农业用地,分类上记入农业用地;本文中的水体主

要指研究区的沟渠、库塘、河流、滩涂等,不包括水稻田(记为农业用地);聚落用地包括从乡村到城市的一系列不同规模的人类聚居地;其他用地包括道路用地、未利用地等(图 1)。由于其他用地在全流域占比较小,在 t 检验和相关性分析的计算中暂未采用。

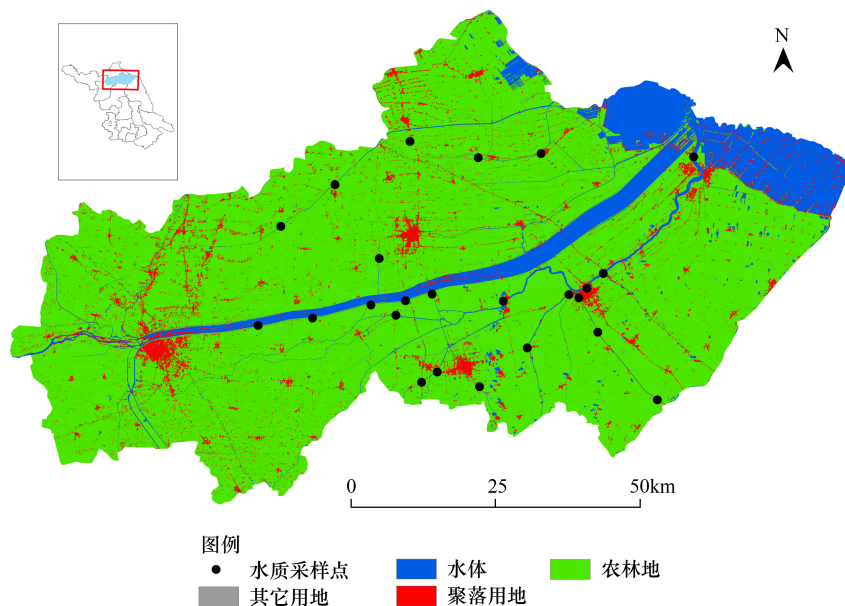


图 1 监测断面分布及研究区土地利用

Fig.1 Location of the water quality monitoring sites and land use cover of Guan River

缓冲区法常用于划定作用区以研究周边土地利用状况等因素与河流水质的关系^[16];在坡降比较小的流域,缓冲区多为由监测点上溯并向河道两侧延伸一定宽度的带状缓冲区^[17-18]。本文选取沿监测点上游长宽不等的带状区域为缓冲区,缓冲区长度分别为 0.25、0.5、1.0、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0 km;宽度分别为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 km(图 2),分别计算每个缓冲区内各土地利用类型的百分比。

土地利用分类及空间分析等在 ENVI 4.7 和 ArcGIS 9.3 支持下完成。

1.3.2 统计分析

本文应用综合污染指数法对各监测点的水质状况进行量化,计算公式^[19]为:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中, P 为综合污染指数; n 为参与评价的污染物项数; P_i 为污染物 i 的污染指数; C_i 为污染物 i 的年均值(mg/L); S_i 为污染物 i 的评价标准(mg/L), P 值越

大则表明水体污染越严重。

为了比较不同时期河流干、支流水质状况,参照江苏省水利厅公布的江苏河道类别数据,并参考研究区河流上下游的河流宽度和形态差异,将 24 个河道断面分为干流 8 个断面、支流 16 个断面,选取枯水期、丰水期、平水期 3 个时期各具代表性的 1 月份、7 月份和 11 月份水质监测数据,分别计算各断面综合污染指数;对不同时期干、支流水质指标及综合污染指数进行独立样本 t 检验,以比较干、支流水质的差异性。同时,为比较干、支流水质监测断面周边各土地利用类型占比差异性,分干、支流选取各监测断面上游长 1.0 km,宽 0.1—0.5 km 范围内的聚落用地及农业用地百分比进行独立样本 t 检验。

以不同时期(枯水期(1 月份)、丰水期(7 月份))各监测断面 DO、COD_{Mn}、COD_{Cr}、BOD₅、AN、TN、TP、石油类、挥发酚 9 种水质指标作为响应变量,以各监测断面对应缓冲区内各土地利用方式的百分比作为解释变量,分干、支流分别进行多元线性回归

分析,残差检验使用 Durbin-Watson 检验(检验相邻误差项是否有序列相关),河流周边土地利用构成中各因子对河流水质变化的解释能力可由回归分析中

相应的方差贡献率表征。

相关统计检验在 PASW 18.0 中完成;多元线性回归在 R 中完成。

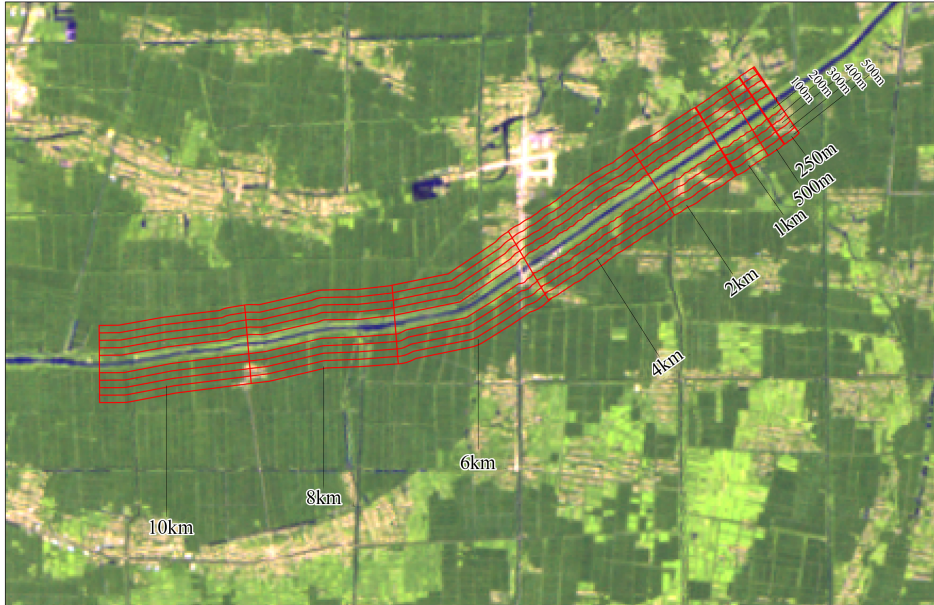


图2 缓冲区示意图

Fig.2 Illustration of buffer zoning

2 结果与讨论

2.1 干、支流不同时期水质状况的差异性

分别计算 8 个干流断面和 16 个支流断面 DO、COD_{Mn} 等 9 个水质指标及水质综合污染指数 P 的平均值,并对干流断面和支流断面水质指标及其上游土地利用的差异性进行统计分析(独立样本 t 检验)(表 1)。结果显示,总体上,研究区枯水期和平水期水质状况干流显著好于支流($P < 0.05$),丰水期干、支流间水质差异相对较小。比较干、支流河道两侧土地利用构成(表 2)发现,同一缓冲区长度下,随着其宽度的增加,聚落和农田占比逐渐增加而湿地水体占比逐渐减小,缓冲区宽度增加至 0.4 km 时,缓冲区内土地利用占比渐趋稳定;支流河道两侧农业用地百分比显著高于干流,干流河道两侧聚落百分比显著高于支流,干流河道两侧 0.3 km 范围内湿地等水体百分比显著高于支流,干支流两侧土地利用构成存在较大不同。

比较发现,干流 DO 在枯水期和平水期显著大于支流,但丰水期干流略小于支流。3 个时期,干流

BOD₅ 显著大于支流, COD_{Cr} 均大于支流, COD_{Mn} 均略小于支流,但差异不显著。总体上,研究区干流的有机物污染高于支流。TN、TP 在 3 个时期干流值小于支流值,其中 7 月份干、支流的 TN、11 月份干、支流的 TN 和 TP 有显著性差异;3 个时期干流 AN 小于支流。作为一种主要指示区域内工业污染的指标,干流的石油类值均显著大于支流。

一般地,面源污染往往是农业区水质下降的重要原因^[9,20],但农业区不同的土地利用方式对河流水质的影响往往存在较大差异;李恒鹏等^[21-22]在太湖流域的研究即发现,TN、TP、BOD₅ 和 COD 等污染物的输出能力按耕地、聚落用地和林地递减。研究区支流河道多为农业排水沟渠,周边农业用地百分比显著高于干流,支流通过地表及地下径流,直接承接了农业用地中 N、P 等营养盐输出,相应地,支流的 N、P 等营养盐指标在 3 个时期都高于干流。研究区干流多流经城镇等大型聚落附近,河道两侧聚落和湿地的百分比显著高于支流,其水质更易受城乡工业、生活和通航等污水排放的影响,相应地,BOD₅、COD_{Cr} 等有机污染指标和石油类指标显著大于支流。

表 1 灌河流域干、支流水质指标及综合污染指数独立样本 *t* 检验结果Table 1 Results of independent sample *t*-test of water quality in Guan River basin over different spatial and temporal variances

	干、支流分区 main streams/ branches	1 月份均值±标准差	7 月份均值±标准差	11 月份均值±标准差
		Mean value of Jan. ±SD	Mean value of Jul. ±SD	Mean value of Nov. ±SD
综合指数 P	支流	1.12±0.39 *	1.22±0.35	1.17±0.40 *
	干流	0.73±0.13 *	0.96±0.17	0.80±0.14 *
溶解氧 DO	支流	7.08±2.52 *	5.09±0.81	6.10±1.60 *
	干流	9.23±1.48 *	4.79±0.80	7.85±1.09 *
高锰酸盐指数 COD _{Mn}	支流	5.34±1.92	5.61±1.63	5.11±0.89
	干流	4.58±0.34	4.61±1.84	5.01±0.84
化学需氧量 COD _{Cr}	支流	18.21±4.73	20.13±2.04	20.09±2.34
	干流	20.30±3.05	22.79±4.82	20.24±3.61
生化需氧量 BOD ₅	支流	2.15±0.75 *	2.24±0.68 *	2.02±0.61 *
	干流	2.78±0.63 *	2.93±0.77 *	2.77±0.69 *
氨氮 AN	支流	0.67±0.30	0.78±0.25	0.66±0.32
	干流	0.57±0.26	0.78±0.28	0.52±0.23
总氮 TN	支流	0.98±0.27	1.60±0.49 *	1.46 ± 0.61
	干流	0.96±0.05	1.17±0.40 *	1.01±0.37 *
总磷 TP	支流	0.11±0.05	0.16±0.03	0.14±0.05 *
	干流	0.10±0.05	0.15±0.06	0.09±0.04 *
石油类 Oil	支流	0.04±0.02 **	0.07±0.09 *	0.03±0.01 *
	干流	0.22±0.17 **	0.21±0.17 *	0.18±0.15 *
挥发酚 VP	支流	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	干流	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.02

* 显著 ($P < 0.05$), * * 极显著 ($P < 0.01$); 综合指数 *P* 无量纲, 其它指标量纲为 mg/L; DO: Dissolved Oxygen; COD_{Mn}: Permanganate Index; COD_{Cr}: Chemical Oxygen Demand; BOD₅: Biochemical Oxygen Demand; AN: Ammonia Nitrogen; TP: Total Phosphorus; TN: Total Nitrogen; VP: Volatile Phenol

表 2 监测断面上游 1km 各缓冲区宽度内干、支流周边土地利用占比独立样本 *t* 检验结果Table 2 Results of independent sample *t*-test of landuse within the buffer zones over different width scales (length: 1.0 km)

土地利用类型 Landuse	缓冲区宽度 Width of Buffer	0.1 km	0.2 km	0.3 km	0.4 km	0.5 km
		0.1 km	0.2 km	0.3 km	0.4 km	0.5 km
聚落	干流	0.15±0.08 *	0.20±0.14 *	0.22±0.18 *	0.24±0.21 *	0.24±0.22 *
Settlement	支流	0.08±0.06 *	0.08±0.06 *	0.08±0.06 *	0.07±0.06 *	0.07±0.05 *
农业用地	干流	0.41±0.19 *	0.48±0.20 *	0.52±0.22 *	0.53±0.22 *	0.55±0.23
Farmland	支流	0.70±0.09 *	0.74±0.07 *	0.74±0.10 *	0.75±0.12 *	0.76±0.14
水体	干流	0.43±0.19 *	0.32±0.16 *	0.26±0.14 *	0.22±0.13	0.20±0.13
Water	支流	0.21±0.07 *	0.18±0.07 *	0.17±0.11 *	0.17±0.13	0.16±0.15

水体占比指河道两侧湿地等水体百分比, 不包括河流水体本身; * 表示存在显著差异

由于降水量季节分配的不均匀, 河流流量的季节性差异可显著影响河流水质^[23-24]。研究区干流流量大、流速快, 支流流量相对较小、流速相对较慢, 枯水期水文特征差异尤其明显, 应是枯水期支流与干流间水质差异相对更大的重要原因。

2.2 干、支流土地利用因子作用的尺度相关性对比

比较枯水期、平水期、丰水期各段面水质指标的差异性, 发现研究区主要水质指标在枯水期和平水期的差异性相对较小, 与丰水期差异较大, 本文选择

1 月份和 7 月份分别代表枯水期和丰水期以进行多元线性回归分析, 以比较研究干、支流河道周边不同观测尺度上土地利用构成与水质指标间的相关关系, 并计算不同观测尺度上土地利用方式对水质变化的方差贡献率。其中, 选择的缓冲区长度分别为 0.25、0.5、1.0、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0 km; 宽度分别为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 km, 总计 40 个观测尺度组合。

比较土地利用构成对水质变化的方差贡献率随

观测尺度的变化发现,当宽度为 0.2 km 时,不同缓冲区长度间干、支流对应的方差贡献率的变化趋势的差异性较大,而当长度为 2.0 km 时,不同缓冲区宽度间干、支流对应的方差贡献率的变化趋势的差异性较大。本文分别选择 2.0 km 河道长度和 0.2 km 河

道宽度为缓冲区的长度和宽度,研究土地利用构成对水质变化的方差贡献率在长度一定时随缓冲区宽度变化的变化规律及长度一定时随缓冲区宽度变化的变化规律(图 3,图 4)。

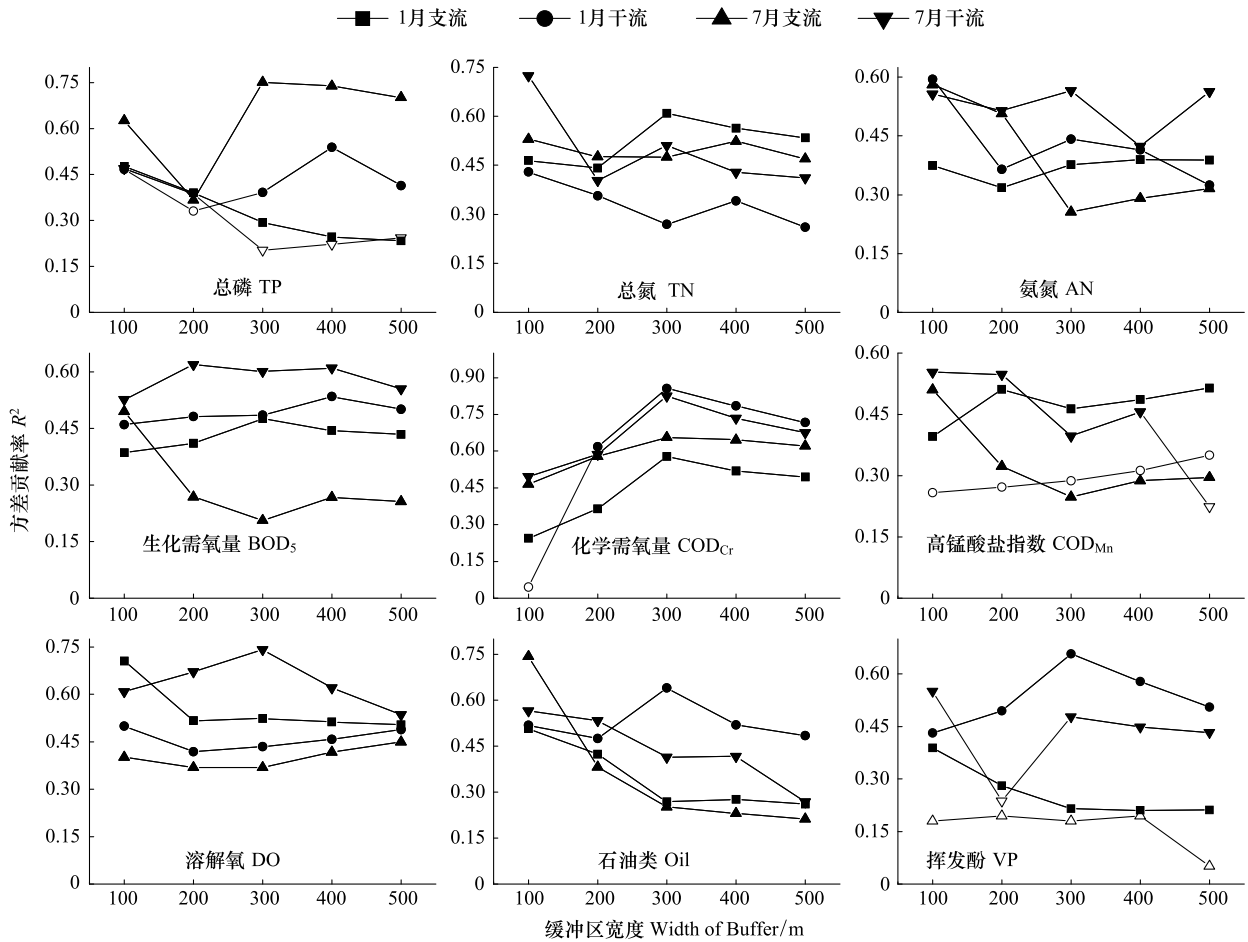


图 3 不同时期干、支流各缓冲区宽度对应水质指标变化方差贡献率 R^2 (长度: 2 km)

Fig.3 Variance of water quality explained by the land use over different width of buffer zones and temporal scales (length: 2 km)

DO: Dissolved Oxygen; COD_{Mn} : Permanganate Index; COD_{Cr} : Chemical Oxygen Demand; BOD_5 : Biochemical Oxygen Demand; AN: Ammonia Nitrogen; TP: Total Phosphorus; TN: Total Nitrogen; VP: Volatile Phenol; □、○、△、▽: 不显著 ($P > 0.05$), ■、●、▲、▼: 显著 ($P < 0.05$)

比较不同观测尺度,当缓冲区长度一定时,土地利用对干、支流水质变化的解释能力都是在较小尺度内(0.0—0.3 km)达到最大值,其后随着缓冲区宽度的增加解释能力减小;当宽度一定时,在 0.0—10.0 km 的观测尺度上,支流的所有水质指标都与土地利用间存在显著的相关关系;但干流大多数水质指标仅在 0.0—4.0 km 的较小尺度上存在显著的相关关系。

解释能力在 4.0 km 长度处达到最大值,对 COD_{Cr} 和 BOD_5 变化的解释能力都在 2.0 km 长度内达到最大值;而营养盐指标 TP、TN 和 AN 对应的解释能力均呈上升趋势,枯、丰水期支流相应的解释能力多在 8.0 km 达到最大值。总体上,同一时期内土地利用构成对支流 TN、TP 和 AN 指标变化的解释能力大于干流,而对于干流有机物及石油类等指标变化的解释能力大于支流。

比较不同指标,土地利用构成对 COD_{Mn} 变化的

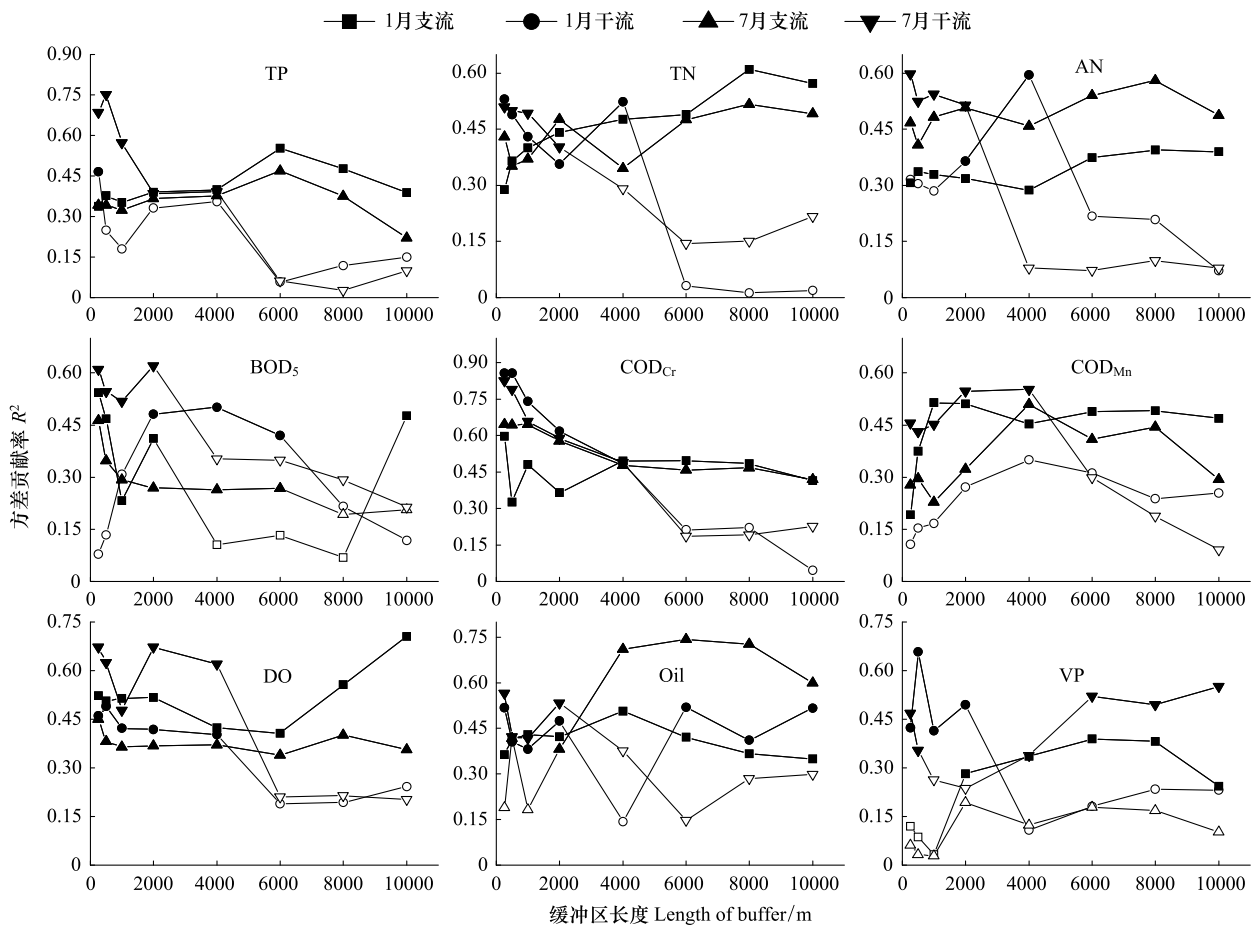


图4 不同时期干、支流各缓冲区长度对应水质指标变化方差贡献率 R^2 (宽度: 0.2 km)

Fig.4 Variance of water quality explained by the land use over different length of buffer zones and temporal scales (width: 0.2 km)

有研究认为, 全流域尺度上的土地利用特征可以较好地解释水质的差异^[25], 但解释能力往往具尺度依赖性^[26-27]。也有研究指出, 河流滨岸带土地利用可强烈地影响河流水质^[28-29], 而随观测尺度的增加, 水质状况与河流周边土地利用结构的相关性往往趋于减小^[18]。周文等^[12]在研究太湖流域土地利用结构对河流水质的影响时也发现, 研究区土地利用背景对水质变化在 0.5—1.0 km 和 16.0 km 左右两个尺度上具有较高的解释能力。

本文研究也发现, 土地利用构成对河流水质的影响随观测尺度的变化而变化, 但干流、支流水质状况对不同长度和不同宽度观测尺度上的土地利用构成的响应存在差异, 不同水质指标与土地利用构成间相关关系的尺度特征也有所不同。其中, 支流营养盐浓度与河道两侧土地利用构成的相关性均随观测尺度的增加而增加, 并在 8.0 km 左右的观测长度上达到最大值, 干流营养盐浓度仅与 4.0 km 观测长度内的土地利用显著相关, 而干流与支流中有机物

浓度与土地利用构成的相关性多在 2.0 km 长度内达到最大而后随着观测长度的增加而减小; 同时, 干、支流间水质状况与河道两侧土地利用构成相关性达显著水平的强度有所不同, 支流水质与河流两侧土地利用构成在 0.0—10.0 km 的观测长度上均显著相关, 干流仅在 0.0—4.0 km 的较小的观测尺度上相关关系显著, 表明不同等级河流与其两侧土地利用构成间的作用规律相对一致, 但支流水系与其周边土地利用构成的相关关系的显著性总体上高于干流水系。因此, 有必要区分不同河流等级, 分别研究不同水质指标与土地利用构成间的相关关系。

3 结论

比较 2006—2007 年灌河流域河流干、支流水质状况, 并应用多元线性回归对干、支流水质状况与土地利用构成在不同观测尺度上的相关性进行研究, 结果发现:

(1) 研究期内, 灌河流域支流的 TN、TP 等营养

盐指标显著高于干流,但干流的 BOD_5 等有机污染指标和石油类指标显著高于支流;枯水期和平水期干流综合水质状况显著好于支流,丰水期干、支流间水质差异相对较小。

(2) 在缓冲区长度 6.0—8.0 km 的较大观测尺度上,土地利用构成对 TN、TP 等营养盐元素浓度的影响较大,而在缓冲区长度 0.0—4.0 km 的较小观测尺度上,土地利用构成对干、支流 BOD_5 、 COD_{Cr} 等有机物浓度影响较大,不同水质指标对土地利用构成响应的尺度域存在一定差异。

(3) 比较不同观测尺度上干、支流水质指标对土地利用构成的相关性,当宽度一定时,支流土地利用构成与其水质变化在缓冲区长度 0.0—10.0 km 的观测尺度上存在显著相关关系,而干流仅在缓冲区长度 0.0—4.0 km 的观测尺度上相关关系显著;长度一定时,缓冲区宽度 0.3km 内的土地利用构成对干、支流水质变化的解释能力均较大。

总体上,研究区支流水系与其周边土地利用构成的相关关系的显著性高于干流水系,不同等级河流的水质状况对土地利用构成的响应在不同空间尺度上有所不同。

References:

- [1] Lu Q, Ma K M, Ni H W. A review on the ecological and environmental impacts of agricultural ditch systems in wetlands. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 2118-2125.
- [2] Hill A R. Nitrate removal in stream riparian zones. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25(4): 743-755.
- [3] Gilliam J W, Skaggs R W. Controlled agricultural drainage to maintain water quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1986, 112(3): 254-263.
- [4] Jiang C L, Cui G B, Fan X Q, Zhang Y B. Purification capacity of ditch wetland to agricultural non-point pollutants. *Environmental Science*, 2004, 25(2): 125-128.
- [5] Herzon I, Helenius J. Agricultural drainage ditches, their biological importance and functioning. *Biological Conservation*, 2008, 141(5): 1171-1183.
- [6] Alexander R B, Smith R A, Schwarz G E. Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico. *Nature*, 2000, 403(6771): 758-761.
- [7] Lenat D R, Crawford J K. Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina piedmont streams. *Hydrobiologia*, 1994, 294(3): 185-199.
- [8] Turner M G, Gardner R H, O'Neill R V. *Landscape Ecology in Theory and Practice; Pattern and Process*. New York: Springer-Verlag, 2001.
- [9] Tong S T Y, Chen W L. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management*, 2002, 66(4): 377-393.
- [10] White M D, Greer K A. The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Peñasquitos Creek, California. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 74(2): 125-138.
- [11] Kelly E A, John A D. The influence of watershed land use on lake N: P in a predominantly agricultural landscape. *Limnology and Oceanography*, 2001, 46(4): 970-975.
- [12] Zhou W, Liu M S, Xu C, He G, Wang L, Yang X J. Response of river water quality to background characteristics of landscapes in Taihu Lake basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 5043-5053.
- [13] Hu J, Liu M S, Zhou W, Xu C, Yang X J, Zhang S W. Correlations between water quality and land use pattern in Taihu Lake basin. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(6): 1190-1197.
- [14] Zhou J, Deng W, Liu W L. Advances on the effects of ditch wetland on hydrology and Eco-environment. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(10): 1079-1083.
- [15] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. *Monitoring and Analysis Methods of Water and Wastewater*. Beijing: China Environmental Science Press, 2006: 115-180.
- [16] Allan J D. *Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2004, 35(1): 257-284.
- [17] Maillard P, Santos N A P. A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed-Brazil in the Velhas river watershed-Brazil. *Journal of Environmental Management*, 2008, 86(1): 158-170.
- [18] Tran C P, Bode R W, Smith A J. Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA). *Ecological Indicators*, 2010, 10(3): 727-733.
- [19] Liu R X, Chang H L, Ren J H. Temporal-spatial change characteristics of main pollutants in Zhuozhang river. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(6): 174-177.
- [20] Yang Y, Chen Y, Zhang X L, Ongley E, Zhao L. Methodology for agricultural and rural NPS pollution in a typical county of the North China Plain. *Environmental Pollution*, 2012, 168: 170-176.
- [21] Li H P, Liu X M, Huang W Y. The Non-point output of different landuse types in Zhexi Hydraulic Region of Taihu Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(3): 401-408.
- [22] Li H P, Huang W Y, Yang G S, Liu X M. Non-point pollutant concentrations for different land uses in Lihe River watershed of Taihu Region. *China Environmental Science*, 2006, 26(2):

243-247.

- [23] Fan X Y, Cui B S, Zhang K J, Zhang Z M. Water quality management based on division of dry and wet seasons in Pearl River Delta, China. *Clean-Soil, Air, Water*, 2012, 40(4): 381-393.
- [24] Prathumratana L, Sthiannopkao S, Kim K W. The relationship of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the Lower Mekong River. *Environment International*, 2008, 34(6): 860-866.
- [25] Zampella R A, Procopio N A, Lathrop R G, Dow C L. Relationship of land-use/land-cover patterns and surface-water quality in the Mullica River Basin. *Journal of the American Water Resources Association*, 2007, 43(3): 594-604.
- [26] Sliva L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. *Water Research*, 2001, 35(14): 3462-3472.
- [27] Allan D, Erickson D, Fay J. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwater Biology*, 1997, 37(1): 149-161.
- [28] Sponseller R A, Benfield E F, Valett H M. Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities. *Freshwater Biology*, 2001, 46(10): 1409-1424.
- [29] Nash M S, Heggem D T, Ebert D, Wade T G, Hall R K. Multi-scale landscape factors influencing stream water quality in the state of Oregon. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 156

(1-4): 343-360.

参考文献:

- [1] 陆琦, 马克明, 倪红伟. 湿地农田渠系的生态环境影响研究综述. *生态学报*, 2007, 27(5): 2118-2125.
- [4] 姜翠玲, 崔广柏, 范晓秋, 章亦兵. 沟渠湿地对农业非点源污染物的净化能力研究. *环境科学*, 2004, 25(2): 125-128.
- [12] 周文, 刘茂松, 徐驰, 何舸, 王磊, 杨雪皎. 太湖流域河流水质状况对景观背景响应. *生态学报*, 2012, 32(16): 5043-5053.
- [13] 胡建, 刘茂松, 周文, 徐驰, 杨雪皎, 张少威, 王磊. 太湖流域水质状况与土地利用格局的相关性. *生态学杂志*, 2011, 30(6): 1190-1197.
- [14] 周俊, 邓伟, 刘伟龙. 沟渠湿地的水文和生态环境效应研究进展. *地球科学进展*, 2008, 23(10): 1079-1083.
- [15] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 115-180.
- [19] 刘瑞祥, 常惠丽, 任嘉红. 浊漳河主要污染物的时空变化特征. *生态学杂志*, 2004, 23(6): 174-177.
- [21] 李恒鹏, 刘晓玫, 黄文钰. 太湖流域浙西区不同土地类型的面源污染产出. *地理学报*, 2004, 59(3): 401-408.
- [22] 李恒鹏, 黄文钰, 杨桂山, 刘晓玫. 太湖地区蠡河流域不同用地类型面源污染特征. *中国环境科学*, 2006, 26(2): 243-247.