

# 不同时空尺度下流域景观格局与水质的相关性研究 ——以嫩江右岸典型子流域为例

于磊<sup>1</sup>, 赵彦伟<sup>1</sup>, 汪思慧<sup>1</sup>, 田竹君<sup>2</sup>

(1. 水环境模拟与污染控制国家重点实验室 北京师范大学 环境学院, 北京 100875; 2. 松辽流域水资源保护局, 吉林 长春 130021)

**摘要:** 流域景观格局与水质的相关关系依赖于研究的时空尺度, 区分时空尺度的研究有助于为流域水陆一体化管理提供准确依据。以嫩江右岸典型子流域为例, 从亚流域、河流廊道 2 个空间尺度, 丰水和枯水期 2 个时间尺度, 研究了景观格局与河流水质的相关关系, 分析了相关关系的时空差异。空间尺度上的研究表明: (1) 亚流域尺度上与水质指标相关性显著的景观指标个数较河流廊道尺度多; (2) 随尺度增大,  $\text{NO}_3-\text{N}$ , 综合污染指数与林地景观百分比的负相关性先增后减, 400 m 处负相关性最强; TDS,  $\text{NH}_4-\text{N}$ ,  $\text{NO}_3-\text{N}$ , 综合污染指数与耕地景观百分比的正相关性先增后减, 300 m 处正相关性最强, 300~400 m 是嫩江支流廊道管理的关键区域。时间尺度上的研究表明, 丰水期与水质指标显著相关的景观指数个数较枯水期多; 丰水期林地、草地和耕地景观与水质指标的相关性强, 而枯水期建设用地景观与水质指标的相关性强。

**关键词:** 时空尺度; 流域景观格局; 水质; 相关性分析; 嫩江

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0254-05

中图分类号: X144, X832

## Correlation Between Landscape Pattern and River Water Quality at Various Temporal and Spatial Scales

—A Case Study of Typical Sub-watersheds of Nenjiang River Right Bank

YU Lei<sup>1</sup>, ZHAO Yan-wei<sup>1</sup>, WANG Si-hui<sup>1</sup>, TIAN Zhu-jun<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control; School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Songliao River Basin Water Resources Protection Bureau, Changchun, Jilin 130021, China)

**Abstract:** The correlation between watershed landscape pattern and water quality depends upon the temporal and spatial scales. The study addressing different spatio-temporal scales could provide a clear basis for integrated management of land and water. Typical sub-watersheds of Nenjiang river were chosen as study sites, and the correlation between landscape pattern and river water quality was studied at the scales of sub-basin and riparian, wet and dry season, then the temporal and spatial difference in correlation was analyzed. The results of spatial scale analysis indicate that, more landscape indices correlated significantly with water quality indices at the sub-basin scale than at the riparian scale. Along with increase of spatial scale, the negative relationship of  $\text{NO}_3-\text{N}$  and integrated pollution index with the forest percentage declined after initial increasing, and this negative relationship reached its strongest at the 400 m buffer. While the positive correlation of TDS,  $\text{NH}_4-\text{N}$ ,  $\text{NO}_3-\text{N}$ , integrated pollution index with the farmland percentage also decreased after initial increasing along with increase of spatial scale, and the strongest relationship was found at 300 m buffer. Therefore, 300~400 m might be the critical area for river corridor management of Nenjiang river. As for temporal scale analysis, more landscape indices correlated closely with water quality indices in wet season than in dry season. In wet periods, forest, grassland and farmland landscapes were more relevant to water quality, while the construction landscape was more relevant to water quality in dry season.

收稿日期: 2011-01-27

修回日期: 2011-01-30

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于河流健康响应的流域景观要素变化阈值研究”(50509002); 科技部“国家水体污染控制与治理科技重大专项”(2008ZX07526-001)

作者简介: 于磊 (1984—), 男(汉族), 山东省烟台市人, 在读硕士, 主要从事流域水生态方面的研究。E-mail: yulei\_bnu@163.com。

通信作者: 赵彦伟 (1974—), 男(汉族), 河南省上蔡县人, 博士, 副教授, 主要从事河流生态系统健康与修复方面的研究。E-mail: awei-a@163.com。

**Keywords:** temporal and spatial scales; watershed landscape pattern; water quality; correlation analysis; Nen-jiang river

河流水质与土地利用/覆被变化密切相关<sup>[1-2]</sup>,并在很大程度上受控于流域内各种景观的空间格局<sup>[3-4]</sup>。景观组合方式产生差别,使景观格局与生态过程之间的关联关系存在差异<sup>[5]</sup>,改变地表径流流动及陆域生态过程,影响入河污染物的类别和数量,最终影响河流水质。以景观指数表征的流域景观格局变化的水质响应已成为当前研究热点<sup>[6]</sup>。

景观格局具有明显的尺度依赖性<sup>[7]</sup>,不同尺度下景观格局与水质之间的相关关系必然不同。Johnson 等<sup>[8]</sup>通过冗余分析法对 62 个子流域景观格局表征指标与水质指标的关系展开研究,结果表明,夏秋两季景观格局对总氮、硝酸盐和亚硝酸盐等水质指标的影响存在差异;陈利顶等<sup>[9]</sup>通过野外定点监测,发现干旱年份各种污染物空间变异小于降雨正常年份。以上研究表明景观格局对水质影响具有明显时间效应。河流水质还受不同空间尺度上景观格局变化的影响<sup>[10-11]</sup>,某些景观指标对水质的影响随空间距离变化而变化<sup>[12]</sup>。可见流域景观格局与水质的相关关系依赖于研究尺度,且随时间和空间尺度的变化而变化。区分不同时空尺度开展研究,对流域水质综合管理具有重要的意义。

本文以嫩江右岸 8 条典型子流域为研究对象,利用 2005 年流域土地利用数据及 2004—2006 年 3 a 的均水质监测数据,选取代表性的景观格局表征指标及水质指标,分丰、枯水期,从亚流域和河流廊道 2 个尺度,研究了景观格局与河流水质之间的相关关系,分析了相关关系的时空差异,为嫩江流域土地管理和景观格局调控提供科学依据。

## 1 研究区概况

嫩江是松花江最大支流,位于中国黑龙江省中西部,源出大兴安岭北麓伊勒呼里山,南流到镇赉县,经吉林省大安市在三岔河汇入松花江,全长 1 370 km,流域面积  $2.83 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。流域位于温带大陆性季风气候区,年降水量 400~500 mm,丰枯水期变化明显,5—10 月降水量占 95% 以上。主要有甘河、讷谟尔河、诺敏河、洮尔河、洮儿河等 14 条一级支流,这些支流多是顺着大、小兴安岭坡面,成东北至西南或西北至东南方向流入干流,呈“平行河”分布,较大支流多分布于右岸。

考虑数据的可获得性、子流域面积及土地利用方式、人类干扰强度等差异,为便于开展相关性研究,选取嫩江右岸受人类干扰较小,水质较好的 8 个子流域(10 个水质监测点)进行研究。

## 2 数据获取

土地利用数据以 2005 年 Landsat 5 TM 影像为数据源,在 ENVI 4.4 中对遥感影像进行几何校正、影像拼接、影像截取等预处理后,导入基于面向对象的专业遥感解译软件 Definiens Developer 7.0 中,采用邻近分类和手工分类相结合的人机交互式解译方法进行信息提取,结合研究区情况,将景观类型分为林地、草地、耕地、建筑用地、湿地、未利用地 6 类(附图 11)。

水质数据为松辽流域水环境研究所 2004—2006 年逐月监测值。为减少数据不确定性,选取的水质指标采用 3 a 逐月平均值。水质指标包括 pH 值、电导率、溶解氧、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、悬浮物、氯离子、硫酸根、矿化度、总硬度、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、化学耗氧量、六价铬、镉、铅、溶解性铁、氟化物、砷化物、挥发酚等 21 项。

研究中还用到了嫩江流域数字高程模型(DEM)数据,1:25 万水系图及水资源分区图。

## 3 研究尺度和方法

### 3.1 研究尺度

空间尺度上,参照 Morley 和 Karr 的方法<sup>[11]</sup>,分亚流域(样点上游整个集水区域)和河流廊道(从样点开始至源头,河流周围一定宽度的河岸带)2 个尺度研究。其中河流廊道尺度又划分 100,200,300,400,600,1 000 m 6 个宽度域。

受降雨影响,嫩江各支流径流年内分配极不均匀,径流量主要集中在 5—10 月,占全年径流量的 95% 以上;丰、枯水期水质污染特征存在明显差异<sup>[13]</sup>。故时间尺度上分丰水期(5—10 月)和枯水期(11—4 月)开展研究。

### 3.2 研究方法

3.2.1 亚流域划分及河流廊道宽度确定 利用 DEM 数据,在 ArcGIS 9.0 平台的支持下,通过以下步骤划分亚流域:(1)利用水文模块(Hydrology)下的 Fill 工具对 DEM 数据进行洼地填充;(2)计算水流方向和汇流积累量;(3)设定不同的汇流积累量阈值进行河网提取,通过提取结果与水系图进行比较,确定合理阈值,确保生成河网最接近实际情况;(4)利用 Watershed 工具生成集水流域,结合水资源分区图,确定各子流域边界;(5)按照 Morley 和 Karr 的方法,划分亚流域。

河流廊道宽度上,利用 ArcGIS 9.0 中的 Buffer Wizard 命令划定样点河流的缓冲区,缓冲区宽度分别设为 100,200,300,400,600,1 000 m。

3.2.2 水质及景观指标选取 经主成分分析,选取电导率(TDS)、溶解氧(DO)、氨氮(NH<sub>4</sub>-N)、硝酸盐氮(NO<sub>3</sub>-N)、5 d 生化需氧量(BOD<sub>5</sub>) 5 项主成分中权重较大的关键水质指标展开研究。为研究景观格局与河流总体水质状况的相关关系,选取 pH 值、溶解氧、氨氮、硝酸盐氮、高锰酸盐指数、BOD<sub>5</sub>、六价铬、砷化物、镉、铅、挥发酚、氰化物 12 项指标,计算各

子流域水体综合污染指数,以此代表水质总体状态。综合污染指数计算公式如下:

$$P_r = \sum_{i=1}^n P_i \quad (P_i = \frac{C_i}{C_{io}})$$

式中: $P_r$ ——综合污染指数; $P_i$ ——第  $i$  项污染物的污染指数; $C_i$ ——第  $i$  污染物的实测浓度; $C_{io}$ ——第  $i$  污染物的评价标准(选取《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) III 类标准); $n$ ——参与评价的污染物项数。

利用景观指数反映流域景观格局特征,参考相关文献<sup>[6,12,14-15]</sup>,选取的景观指数及生态意义见表 1。

表 1 选取的景观指数及其生态学意义

景观指数	生态学意义
斑块密度 PD	反映景观的破碎化程度,同时反映景观空间异质性,其值大小与景观破碎化正相关
斑块数 NP	描述景观异质性,其值大小与景观破碎化正相关
面积周长分维数 PAFRAC	描述斑块形状复杂程度,其值越大,形状越复杂
Shannon 多样性指数 SHDI	反映景观要素的多少和各景观要素所占比例的变化,景观类型越丰富,破碎化程度越高,其值越大
景观类型百分比 PLAND	反映了景观类型在景观中的组成百分比,包括耕地、林地、草地、建筑用地、湿地和未利用地等景观百分比

## 4 结果与分析

利用亚流域边界及不同缓冲区边界,提取 2 个尺度上的土地利用数据。

基于 Fragstas 3.3 计算各尺度下景观指数,利用 SPSS 中的相关分析工具对水质指标与景观指数进行相关分析,具有显著相关关系的分析结果详见表 2 和表 3。

表 2 亚流域尺度上水质指标与景观指数相关性分析结果

项目	电导率			溶解氧			氨氮			硝酸盐氮			5 d 生化需氧量			综合污染指数		
	年均值	丰水期	枯水期	年均值	丰水期	枯水期	年均值	丰水期	枯水期	年均值	丰水期	枯水期	年均值	丰水期	枯水期	年均值	丰水期	枯水期
NP	0.645*	0.586	0.704*	-0.126	-0.228	-0.071	0.912**	0.452	0.858**	0.861**	0.904**	0.612	0.594	0.449	0.423	0.695*	0.419	0.770**
PD	0.575	0.560	0.592	-0.055	-0.116	0.160	0.489	0.071	0.471	0.774**	0.664*	0.805**	0.360	-0.101	0.378	0.350	0.012	0.528
SHDI	0.676*	0.629	0.746*	0.091	-0.135	0.372	0.547	0.419	0.441	0.702*	0.699*	0.585	0.351	0.002	0.350	0.657*	0.446	0.618
耕地百分比	0.520	0.662*	0.444	0.392	0.280	0.502	0.413	0.145	0.434	0.639*	0.624	0.503	0.390	0.196	0.155	0.697*	0.689*	0.455
林地百分比	-0.938**	-0.947**	-0.887**	0.194	0.153	0.054	-0.615	-0.356	-0.507	-0.815**	-0.965**	-0.780**	-0.226	0.083	0.065	-0.720*	-0.681*	-0.392
草地百分比	-0.667*	-0.721*	-0.524	-0.409	-0.277	-0.365	0.448	0.298	0.328	-0.678*	-0.750*	-0.602	-0.099	-0.169	-0.132	-0.347	-0.348	-0.315
建筑用地百分比	0.806**	0.757*	0.855**	-0.004	-0.047	0.041	0.636*	0.324	0.591	0.752*	0.666*	0.739*	0.394	0.251	0.033	0.678*	0.519	0.661*

注:\*表示在 0.05 水平显著相关;\*\*表示在 0.01 水平显著相关。下同。

### 4.1 不同空间尺度相关性分析

空间尺度上,主要分析了水质指标的年均值及综合污染指数与景观指数之间的相关关系。

亚流域尺度上,林地景观是各子流域的基质,林地景观百分比越大表示流域受人类干扰破坏越小,河流水质自然越好,因而反映水质总体状态的综合污染指数( $P_r$ )与林地景观百分比显著负相关。对研究区而言,耕地景观、建设用地景观的增加,建立在对林地景观占用的基础上,从而导致区域景观破碎化加剧,景观遭受人类干扰越大,对水质的负面影响也就越强烈,使得  $P_r$  与 NP,SHDI、耕地景观百分比、建筑用地

景观百分比显著正相关。DO,BOD<sub>5</sub> 与各景观指数之间并无显著相关性,TDS 与 NP,SHDI、建筑用地景观百分比显著正相关,与草地景观百分比、林地景观百分比显著负相关。TDS 值反映了水中溶解性总固体含量,TDS 值越大,说明水中的杂质含量越大。流域景观破碎化程度越大,建筑用地景观百分比越大,水体中可溶性离子浓度就越大,而林草地景观可有效降低水中可溶性离子浓度。与草地景观相比,林地景观在拦截泥沙及污染物、降低冲刷量等方面的作用大<sup>[16]</sup>,故与 TDS 的负相关性更强。NH<sub>4</sub>-N 与 NP,建筑用地景观百分比显著正相关;NO<sub>3</sub>-N 与 PD,SH-

DI,耕地景观百分比显著正相关,与林地景观百分比显著负相关。这表明,各子流域水体中  $\text{NH}_4\text{-N}$  主要来自建成区污水排放,而  $\text{NO}_3\text{-N}$  除来自建成区污水排放外,还可能与农田化肥等非点源流失有关。增大林地景观面积,减少耕地景观和建设用地景观面积,降低流域景观破碎化,是流域水质管理的重要途径。

表 3 河流廊道尺度上水质指标与景观指数相关性分析结果

项目	宽度/ m	电导率			溶解氮			氨氮			硝酸盐氮			5 d 生化需氧量			综合污染指数		
		年均值	丰水期	枯水期	年均值	丰水期	枯水期	年均值	丰水期	枯水期	年均值	丰水期	枯水期	年均值	丰水期	枯水期	年均值	丰水期	枯水期
PD	100	0.375	0.370	0.364	0.093	-0.212	0.284	0.293	0.151	0.282	0.601	0.503	0.601	0.431	-0.287	0.591	0.136	-0.132	0.349
	200	0.469	0.483	0.436	-0.026	-0.316	0.175	0.314	0.228	0.285	0.629	0.509	0.645*	0.347	-0.311	0.502	0.173	-0.061	0.333
	300	0.455	0.443	0.450	0.042	-0.255	0.237	0.349	0.200	0.331	0.650	0.561	0.639*	0.422	-0.239	0.587	0.192	-0.081	0.382
	400	0.454	0.454	0.436	0.009	-0.267	0.195	0.354	-0.288	0.285	0.297	0.247	0.659*	-0.541	-0.334	0.523	0.163	-0.12	0.336
	600	0.506	0.476	0.517	0.004	-0.245	0.173	0.398	-0.128	0.531	0.376	0.350	0.665*	-0.534	-0.423	-0.03	0.238	-0.065	0.438
	1000	0.488	0.445	0.513	0.037	-0.198	0.191	0.431	0.067	0.457	0.456	0.501	0.686*	0.415	-0.077	0.532	0.242	-0.073	0.46
耕地 百分比	100	0.722*	0.825**	0.599	0.037	-0.045	-0.095	0.868**	0.839**	0.465	0.851**	0.928**	0.617	0.564	0.655	0.352	0.776*	0.858**	0.537
	200	0.726*	0.831**	0.600	0.010	0.009	-0.026	0.917**	0.888**	0.493	0.859**	0.938**	0.648	0.565	0.685	0.359	0.784*	0.872**	0.554
	300	0.733*	0.835**	0.603	0.163	0.043	0.030	0.956**	0.923**	0.448	0.871**	0.967**	0.653	0.554	0.632	0.367	0.788*	0.877**	0.571
	400	0.713*	0.823**	0.577	0.277	0.037	-0.008	0.552	0.878**	0.686	0.738*	0.765*	0.645	0.090	-0.237	0.352	0.772*	0.865**	0.525
	600	0.699*	0.786**	0.587	0.233	-0.078	0.300	0.374	0.393	0.193	0.748*	0.758*	0.635	-0.159	-0.473	0.463	0.765*	0.804*	0.521
	1000	0.615	0.709*	0.498	0.243	0.014	0.409	0.469	0.483	0.129	0.700*	0.720*	0.582	0.319	0.128	0.346	0.702*	0.796*	0.495
林地 百分比	100	-0.662*	-0.657*	-0.643*	0.239	0.216	0.206	-0.275	-0.289	-0.225	-0.372	-0.322	-0.363	0.321	-0.115	0.367	-0.585	-0.472	-0.324
	200	-0.712*	-0.703*	-0.695*	0.269	0.206	0.227	-0.308	-0.294	-0.260	-0.431	-0.358	-0.433	0.304	-0.119	0.378	-0.623	-0.480	-0.366
	300	-0.765**	-0.751**	-0.750*	0.213	0.184	0.237	-0.341	-0.290	-0.297	-0.498	-0.399	-0.514	0.282	-0.117	0.391	-0.664*	-0.490	-0.414
	400	-0.874**	-0.851**	-0.801**	0.195	0.184	0.282	0.113	-0.294	-0.557	-0.870**	-0.895**	-0.785*	-0.141	0.181	0.304	-0.792**	-0.56	-0.623
	600	-0.891**	-0.870**	-0.844**	0.037	0.137	0.229	0.209	-0.081	0.415	-0.828**	-0.833**	-0.685**	-0.202	0.134	0.345	-0.780*	-0.519	-0.522
	1000	-0.937**	-0.948**	-0.856**	0.010	0.122	0.212	-0.457	-0.312	-0.419	-0.744*	-0.820**	-0.643**	0.134	-0.03	0.411	-0.745**	-0.529	-0.59

河流廊道尺度上,  $P_r$ , TDS,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  与耕地景观百分比正相关, 相关系数随着缓冲区宽度增大, 呈先增后减的趋势, 在 300 m 处正相关性最强。TDS 与林地景观百分比显著负相关, 相关系数随缓冲区宽度增大而减少,  $P_r$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  与林地景观百分比负相关系数随缓冲区宽度增大, 呈现先减后增的趋势, 在 400 m 处负相关性最强。其余景观指数与水质指标无显著相关性。总体上看, 300~400 m 范围可能是嫩江子流域河流廊道管理的关键区域, 在这个区域内, 应严格控制林地砍伐, 减少耕地和建设用地对其它生态用地的占用。

4.2 不同时间尺度相关性分析

丰水期, 亚流域尺度上,  $P_r$  与耕地景观百分比显著正相关, 与林地景观百分比显著负相关; TDS 与耕地和建设用地景观百分比显著正相关, 与林地和草地景观百分比显著负相关;  $\text{NO}_3\text{-N}$  与 NP, PD, SHDI, 建设用地景观百分比显著正相关, 与林地和草地景观百分比显著负相关; 其余水质指标与各景观指数无显著相关性。河流廊道尺度上,  $P_r$ , TDS,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  与耕地景观百分比正相关, 相关系数随宽度增大先增后减, 在 300 m 处正相关性最强;  $\text{NO}_3\text{-N}$  还与林地景观百分比负相关, 相关系数随宽度增大先减后增, 在 400 m 处负相关性最强; TDS 与林地景观百分比显著负相关, 相关系数随着宽度增大而减少。

枯水期, 流域降雨量减少, 地面冲刷减弱, 林、草地景观对污染物的拦截贡献率降低, 使得亚流域尺度上  $P_r$ , TDS,  $\text{NO}_3\text{-N}$  与林地和草地景观百分比的负相关关系减弱。同时, 地面径流减少导致非点源污染物入河量减少, 建成区污水排放对河流水质影响与贡献率加大, 因此  $P_r$ , TDS,  $\text{NO}_3\text{-N}$  与耕地景观百分比的正相关关系减弱, 与建筑用地景观百分比的正相关关系反而增强。河流廊道尺度, TDS 与林地景观百分比相关性与丰水期一致, 只是相关性较丰水期弱;  $\text{NO}_3\text{-N}$  与 PD 在 200~1 000 m 范围内显著正相关, 相关系数随宽度增大而增大, 200 m 内无显著相关性。与丰水期相比, 枯水期  $P_r$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  与耕地和林地景观百分比相关性减弱, 已无显著相关性;  $\text{NO}_3\text{-N}$  与林地景观百分比负相关性减弱, 与耕地景观百分比无显著相关性。枯水期河流两岸林地景观对污染物截留作用、非点源对水体中污染物浓度贡献都较丰水期弱, 这一结论与亚流域尺度上的分析结果一致。

5 讨论

总体上看, 本文与前人结论具有较高的一致性。于兴修等<sup>[15]</sup>, 李俊然等<sup>[17]</sup>, Ren 等<sup>[18]</sup> 的研究表明耕地、建筑用地景观可降低水体质量, 而林地景观具有降低非点源污染、改善河流水质的作用。本研究结论表明林地景观百分比跟水质正相关, 耕地景观百分比与

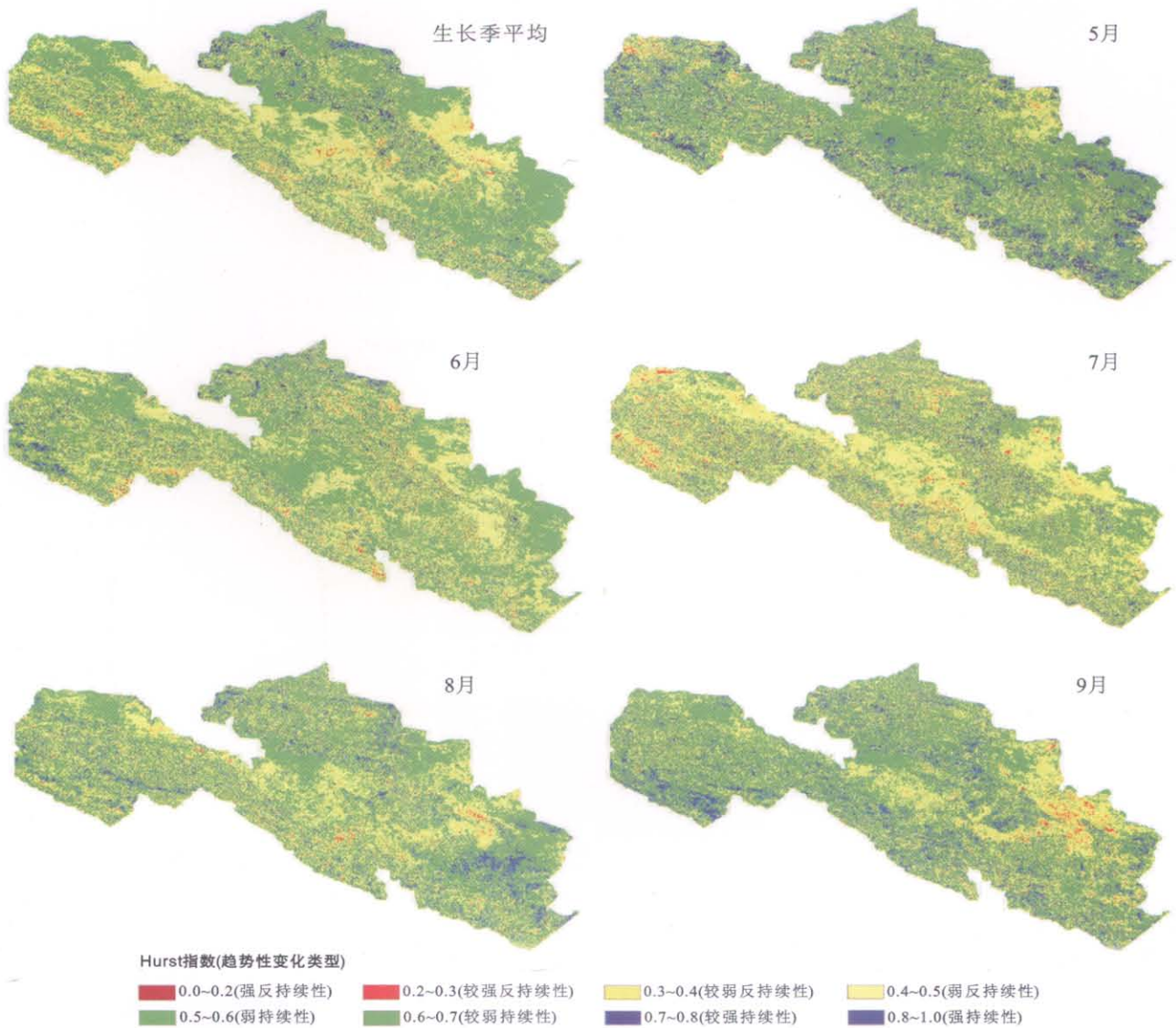
水质负相关,跟前人的研究一致。Sliva 等<sup>[19]</sup>对加拿大安大略省南部 3 个流域和沿岸缓冲区内土地利用与水质的相关关系进行了研究,认为流域比缓冲区尺度的相关性略强,本文研究结论“亚流域尺度上与水质指标相关性显著的水质指标个数较河流廊道尺度多”也论证了这一结论。

但部分结论与前人研究结果不相一致。“随空间尺度增大,部分水质指标与耕地景观百分比、林地景观百分比的正、负相关性皆呈现先增后减趋势,分别在河流廊道宽度为 300 和 400 m 处达到最大值”。而官宝红等<sup>[12]</sup>的研究表明,缓冲距离 100 m 的范围内,土地利用结构与水质表现出显著相关性,随缓冲区距离增加,相关性明显减弱。结论产生差异的原因可能有 3 方面:(1) 本文的研究从河流廊道尺度扩展到亚流域尺度,而官宝红等的研究尺度是河流廊道尺度,一般而言缓冲带内景观格局与流域或亚流域的景观格局差异,会影响到 2 种尺度的相关关系结果<sup>[8]</sup>;(2) 遥感图像分辨率差异导致研究结果不同<sup>[20]</sup>,官宝红等人的土地利用数据来源于 SPOT<sub>5</sub> 高分辨率卫星遥感影像,而本文土地利用数据来自于 TM 遥感影像;(3) 河流本身及流域社会经济活动强度的差异所致。此外,“DO 和 BOD<sub>5</sub> 这两个水质指标在不同时空尺度上与各景观指数皆无显著相关性”,这一结论跟岳隽等人<sup>[14]</sup>的研究不同,其研究发现:“建设用地与 BOD<sub>5</sub> 有显著的正相关关系,与 DO 有较为显著的负相关关系。”结论产生差异的原因可能有两方面:(1) 本文研究选择的是受人类干扰相对较小的河流,流域内建成区污水排放强度较小,岳隽等人研究的是城市河流,河流两岸建筑用地为主导景观类型,河流水质受控于流域社会经济系统污染排放,导致河流水质特性差异。(2) DO 和 BOD<sub>5</sub> 两项水质指标受河流水温和冰封期影响较大。本研究区内各支流冰封期较长,冰封期内流量小、水温低,大气复氧能力差,导致污染物降解和水体自净能力弱,可能掩盖了二者之间的相关关系。可见,景观格局只是影响水质众多因素中的一个,其它因素如气候、降雨、气温都可以对水质造成影响,因此在探讨景观格局与水质关系时,应尽量减少外在因素的干扰,以提高研究的准确性。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Osborne L L, Wiley M J. Empirical relationships between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed[J]. *Journal of Environmental Management*, 1988,26(1):9-27.
- [2] Tong T Y, Chen W. Modeling the relationship between land use and surface water quality[J]. *Journal of Environmental Management*, 2002,66(4):377-393.
- [3] Griffith J A. Geographic techniques and recent applications of remote sensing to landscape-water quality studies [J]. *Water, Air & Soil Pollution*, 2002,138(1):181-197.
- [4] 牟溥,王庆成, Hershey, A E, 等. 土地利用、溪流级别与溪流河水理化性质的关系[J]. *生态学报*, 2004, 24(7): 1486-1492.
- [5] 岳隽,王仰麟,李贵才,等. 不同尺度景观空间分析特征对水体质量的影响:以深圳市西丽水库流域为例[J]. *生态学报*, 2007,27(12): 5271-5281.
- [6] Gergel S E, Turner M G, Miller J R, et al. Landscape indicators of human impacts to riverine systems [J]. *Aquatic Science*, 2002, 64: 118-128.
- [7] 徐丽华,岳文泽,曹宇. 上海市城市土地利用景观的空间尺度效应[J]. *应用生态学报*, 2007,18(12):2827-2834.
- [8] Johnson L B, Richards C, Host G E, et al. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems[J]. *Freshwater Biology*, 1997,37:193-208.
- [9] 陈利顶,傅伯杰,徐建英,等. 基于“源—汇”生态过程的景观格局识别方法:景观空间负荷对比指数[J]. *生态学报*, 2003,23(11): 2406-2413.
- [10] Allan J D, Erickson D L, Fay J. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales[J]. *Freshwater Biology*, 1997,37:149-161.
- [11] Morley S A, Karr J R. Assessing and restoring the health of urban streams in the Puget Sound Basin[J]. *Conservation Biology*, 2002,16(6):1498-1509.
- [12] 官宝红,李君,曾爱斌,等. 杭州市城市土地利用对河流水质的影响[J]. *资源科学*, 2008,30(6):54-863.
- [13] 王昱,刘贵成,赵旭. 嫩江干流与支流水质污染状况分析[J]. *现代农业科技*, 2010(2):289-289.
- [14] 岳隽,王仰麟,李正国,等. 河流水质时空变化及其受土地利用影响的研究:以深圳主要河流为例[J]. *水科学进展*, 2006,17(3):359-364.
- [15] 于兴修,杨桂山. 典型流域土地利用/覆被变化及对水质的影响:以太湖上游浙江西苕溪流域为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2003,12(3):211-217.
- [16] 罗伟祥,白立强,宋西德,等. 不同覆盖度林地和草地的径流量与冲刷量[J]. *水土保持学报*, 1990,6(1):30-35.
- [17] 李俊然,陈利顶,郭旭东,等. 土地利用结构对非点源污染的影响[J]. *中国环境科学*, 2000,20(6):506-510.
- [18] Ren W, Zhong Y, Meligrana J, et al. Urbanization, land use, and water quality in Shanghai: 1947—1996 [J]. *Environment International*, 2003,29(5):649-659.
- [19] Sliva L, Willams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land-use impact on water quality[J]. *Water Research*, 2001,35(14):3462-3472.
- [20] 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.

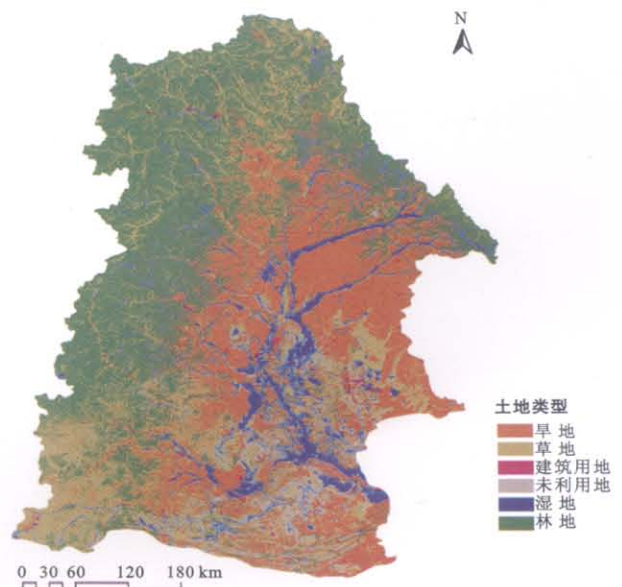




附图9 2000—2008年张掖地区生长季平均值、5—9月份的Hurst指数变化趋势



附图10 甘肃省天水市秦州区吕二沟流域雨量站位置及控制面积



附图11 2005年嫩江流域土地利用分类