

异质景观中非点源污染动态变化比较研究

陈利顶¹, 傅伯杰¹, 张淑荣¹, 丘 君¹, 郭旭东¹, 杨福林²

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 河北省遵化市农业局土肥站, 河北遵化市 062400)

摘要:通过在河北省遵化地区于桥水库的上游选取景观特征差异明显的 4 个典型流域, 对地表水体采样分析, 研究了非点源污染 N(水溶性 N)含量的季节动态变化特征以及与流域形状、景观空间分布格局的相互关系。结果表明:① 平水(偏干, 下同)年份不同季节地表水中非点源污染 N 含量高于干旱年份, 反映出平水年份地表和地下径流对非点源污染的形成起到了较大作用。② 干旱年份地表水中非点源污染 N 含量季节变化比较平稳, 且空间变异较小。而平水年份地表水体中非点源污染 N 含量季节变化较大, 表现出两种不同变化形式。③ 流域形状和景观类型的相对重要性与非点源污染 N 之间没有明显的相关关系, 而“源”“汇”景观类型的空间分布格局在非点源污染的形成中起着重要作用。

关键词:异质景观; 景观格局; 非点源污染; “源”“汇”景观

Comparative Study on the Dynamics of Non-point Source Pollution in a Heterogeneous Landscape

CHEN Li-Ding¹, FU Bo-Jie¹, ZHANG Shu-Rong¹, QIU Jun¹, GUO Xu-Dong¹, YANG Fu-Lin²

(1. Research Center For Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

2. The Station of Soil and Manure, The Bureau of Agriculture of Zunhua, Zunhua 062400, China). *Acta Ecologica Sinica*,

2002, 22(6): 808~816.

Abstract: With point-source pollution controlled effectively, nonpoint-source pollution, especially that resulting from agricultural land, has become the main factor affecting surface water quality. Much attention has been paid to the impact of fertilizer and pesticide application, wastewater irrigation, and land management on pollutant transport. However, landscape pattern also plays an important role in pollutant transport and detention. Landscapes may be classified into two types: “source” and “sink” landscapes, based on their functions in pollutant transport and detention. As a major contributor to eutrophication of waterbodies, nitrogen loss with run-off has received particular attention in studying on nonpoint-source pollution. In this study, four watersheds in the upper parts of the Yuqiao Reservoir Basin, Zunhua, Hebei Province, China, were chosen in order to study the relationship between landscape pattern and nitrogen-concentration dynamics. The results indicated that (1) nitrogen concentration in surface water within different seasons is higher in the rainfall-normal year than in the rainfall-deficit year and (2) the seasonal variation of nitrogen concentration in the rainfall-deficit year is smaller than in the rainfall-normal year. In the rainfall-normal year two types of seasonal variation in nitrogen concentration were found. The first type occurs when nitrogen concentration is lowest in the dry season, and rises rapidly from the dry season to the rainy season and then declines quickly from the rainy season to the mean-flow season. This mainly occurs in those areas where most “source” landscapes are close to the monitored waterbody. The second type of variation occurs when nitrogen concentration is low in the dry season, increases rapidly in the rainy season but does not reach its peak value until the mean-flow season. The second type of variation occurs in

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49971072); 国家自然科学基金重点基金资助项目(49831020)

收稿日期: 2001-10-11; 修订日期: 2002-02-20

作者简介: 陈利顶, 男, 河南人, 博士, 研究员。主要从事景观生态、环境遥感与土地利用评价研究。e-mail: liding@mail. cees. ac. cn

those areas where “source” landscape types are spread over the whole watershed. There is no clear relationship between watershed shape, relative importance of landscape types, and nitrogen concentration; however, the spatial distribution of “source” and “sink” landscape types in the watershed has a strong impact on the nitrogen concentration in surface water.

Key words: nonpoint-source pollution; “source” and “sink” landscape; nitrogen concentration; heterogeneous landscape; landscape pattern

文章编号:1000-0933(2002)06-0808-09 中图分类号:Q149, X171 文献标识码:A

非点源污染与点源污染相对应,是指溶解的或固体污染物从非特定的地点,在降水和径流冲刷作用下,通过径流过程而汇入受纳水体,引起的地表水体污染^[1~5]。非点源污染主要是由于农田大量使用化肥、农药、农村家畜粪便与垃圾堆放、城镇地表径流、矿区地表径流、林区地表径流、农田污水灌溉及大气降雨降尘等而引起的。但由于非点源污染起源于分散、多样的地区,其地理边界和位置难以识别和确定,加上非点源污染的影响因子复杂多样,对它的形成机理尚不清楚^[1~8]。一般可以将非点源污染的形成过程概括为“源”和“传输”两部分,然而随着全球耕地资源的大量流失和人口数量增长,对粮食需求的增长不可避免地导致化肥和农药使用量的增加,通过控制非点源污染的“源”将愈加困难。非点源污染的形成不仅与物质来源密切相关,而且在更大程度上取决于非点源污染物的空间分布与迁移过程,尤其是土壤与景观类型(如岸边林、湿地、溪沟、池塘等)对非点源污染物的截留,将极大地降低非点源污染形成的危险^[5,9~16]。如果考虑不同景观类型在非点源污染物产生和迁移过程中的作用,可以将一个区域的景观类型划分为“源”与“汇”两种类型,他们的空间分布格局将直接影响到非点源污染的最终形成^[9,17,18]。通过研究不同景观空间格局对非点源污染形成的影响,寻求一种有利于非点源污染物截留的良性景观生态系统,来控制养分流失与传输过程将对控制非点源污染的形成具有重要意义。

本文选取于桥水库流域上游4个景观结构差异显著的小流域,通过连续两年定点对地表水体采样分析,研究了异质景观条件下非点源污染季节动态变化的特征。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区

于桥水库流域位于蓟运河上游,北纬 $39^{\circ}56'$ ~ $40^{\circ}23'$ 与东经 $117^{\circ}26'$ ~ $118^{\circ}12'$ 之间。地跨河北、天津两地,面积 2052km^2 。该流域属于温带大陆季风型半湿润气候,年均温度 $10.4\sim 11.5^{\circ}\text{C}$,多年平均降雨量为 748mm ,主要集中在7~9月份。流域内地形复杂,海拔 500m 以上的山地占全流域面积的 24.5% 。于桥水库是引滦入津工程的重要调蓄水库,同时又是天津市工农业和生活用水的主要水源地,其水体富营养化将直接影响到天津市的工农业用水和蓟运河以及渤海湾水体的水质^[17,18]。其上游遵化市地区以种植业为主,具有较高的农业非点源污染危险。为了避开点源污染的影响,在于桥水库流域上游地区选择了4个典型小流域,以农业活动为主,土地利用/覆被类型主要有林地、灌木林地、草地、果园、板栗园、农田等,农作物有小麦、玉米、花生、土豆等。农村调查发现,该区不同土地利用方式如板栗园、果园与农田的土地管理方式差异较大,而不同地区之间同一土地利用方式的土地管理方式基本一致。研究地区基本概况如图1所示。

2.2 景观分析方法

为了深入研究景观空间分布格局与非点源污染之间的相互关系,将研究地区所有景观类型划分为两大类型:其一是具有较高非点源污染危险的景观类型(“源”景观),如农田、果园和板栗园等;其二为对农业非点源污染物起到一定截留作用的景观类型(“汇”景观),如成熟林地、半成熟林地、灌木林地和草地等。以地表水体采样监控点为中心,分别计算两种景观类型在距离、坡度和相对高度上的空间分布特征。通常认为,“源”景观距离地表水体监控点越近,分布的地形坡度越大,相对高度越小,则对地表水体污染的危险越大;对于“汇”景观类型,影响则相反。由于研究区域范围较小,土壤空间分异较小,在研究景观空间格局对非点源污染影响时忽略了土壤结构差异对非点源污染的影响;但由于不同的景观类型在非点源污染形成和截留方面作用差异较大,在进行“源”“汇”景观类型面积统计时,进行了标准化处理:

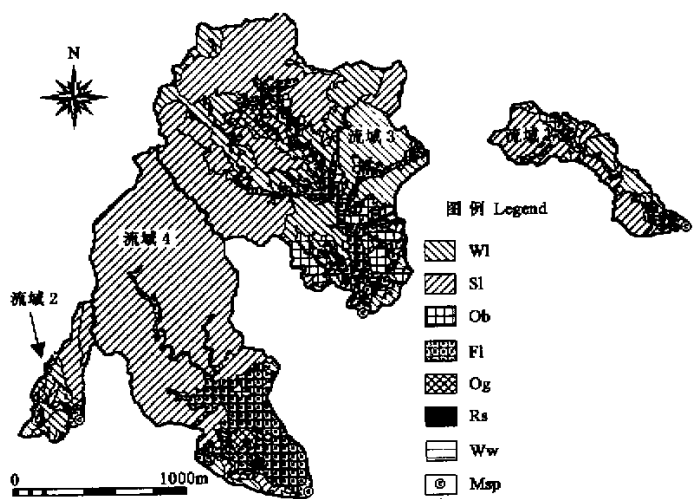


图 1 典型流域特征及其主要景观类型

Fig. 1 The characteristics of the typical watersheds, and landscape types

典型流域的水系均呈 NW→SE 或 NNW→SSE 流向,在各小流域的下游出口处建有小型水库 1 座,形成了一定面积的水体,成为研究非点源污染 N 的主要监控水体 The rivers in all the typical watersheds go as NW→SE, or NNW→SSE, and a small reservoir was found in each watershed, where the sampling point was established.

Wl—林地 (Woodland); Sl—灌木林地 (Shrubland); Ob—板栗林地 (Chestnut land); Fl—农田 (Farmland); Og—果园 (Orchard); Rs—居民点 (Residential area); Ww—水体 (Waterbody); Msp—监测点 (Monitoring sample point)

$$f'_{(ij)} = f^o_{(ij)} \times \omega_{(ij)} \tag{1}$$

其中, $f'_{(ij)}$ 为标准化后的景观类型面积, $f^o_{(ij)}$ 为不同景观类型在空间分布的实际面积 (相对于距离、坡度和相对高度); $\omega_{(ij)}$ 为各景观类型与标准景观类型相比的权重. 对于“源”景观, 以农田作为参照景观, 其他景观类型单位面积化肥使用量与参照景观的值相比确定其权重; 对于汇景观, 以成熟林地作为参照景观, 其他景观类型与之相比, 根据截留非点源污染物的重要程度来确定权重.

为了正确反映不同景观类型在景观中的重要性, 引入了相对重要性指数 (Z_i), 它是在对景观分离度取倒数后, 进行标准化处理而获得. 可以表示为:

$$Z_i = (1/F_i) / [\sum (1/F_i)] \tag{2}$$

其中, Z_i 、 F_i 分别为景观类型 i 的相对重要性指数和景观分离度^[23], Z_i 值越大, 表明该景观类型在景观中的地位越重要; 相反, Z_i 值小说明景观类型的重要性较低.

为了进一步分析不同流域景观类型空间分布的差异, 提出了景观空间对比指数 ($C_{(i)}$), 比较研究相同百分比水平下两种“源”“汇”景观类型的空间分布差异.

$$C_i = S_i/H_i, \tag{3}$$

其中, S_i 和 H_i 分别为“源”、“汇”景观在不同百分比条件下的分布范围, 如距离, 坡度和相对高度. $C_{(i)}$ 为针对 3 种景观要素 (距离、坡度和相对高度) 的空间对比指数. 其值为大于 0 的实数. 值越接近于 0, 表明“源”景观比“汇”景观更靠近污染水体, 非点源污染形成的危险较高; 当其值等于 1 时, 表明“源”“汇”在景观在空间较均匀地分布; 当值大于 1 时, 表明“汇”景观比“源”景观更靠近污染水体, 非点源污染形成的危险相对较低.

此外, 还计算了景观多样性指数 (H) 和景观分离度指数 (F)^[20~23].

2.3 野外采样分析

在4个典型小流域出口处设置取样点,作为该流域的控制点,分别于1999、2000年的枯水期(6月份)、丰水期(8月份)和平水期(10月份)同一时间进行采样分析,每次取水样1000ml,密封保存至次日送去当地环境监测站,利用国家标准方法测定水溶性氮的含量(氨氮+硝态氮)。

3 结果与讨论

3.1 结果分析

3.1.1 流域基本特征与景观相对重要性 4个流域比较,流域1、2为典型的长条状小流域,面积在30km²以下;而流域3、4面积较大,均在100km²以上,流域3为典型的树枝状水系,流域4为长条状—树枝状水系的过渡形。除了流域4的景观多样性指数较低外(0.41),其他流域的景观多样性较高(0.73~0.74)。在流域1、2中,除了“汇”景观类型占有非常重要地位外,流域1中板栗园(0.172)和农田(0.102)也占有较重要的地位,流域2中果园(0.119)和农田(0.109)占有较重要地位;流域3中,除了“汇”景观类型占有重要地位外,板栗园和农田的相对重要性较高,分别为0.176和0.132,仅低于成熟林地、高覆盖灌丛、中覆盖灌丛;流域4中农田相对重要性指数(0.321)列第1位,占决定重要地位,高于林地和灌木林地(表1)。

3.1.2 “源”“汇”景观类型空间分布特征 流域1、2均为面积较小的长条状水系,但两类景观类型面积百分比(“源”和“汇”景观)随距离、坡度和相对高度的空间分布具有明显差异(图2)。总体上,流域2“源”景观在距离上比“汇”景观更靠近地表监控水体,并且多集中分布在坡度较小的低凹地方;而流域1中两类景观类型在空间上的分布规律比较一致,较均匀地散布在整个流域中(图1)。尽管流域3和流域4面积较大,但两类“源”“汇”景观类型在空间分布上具有明显的差异,两个流域中“源”景观比“汇”景观在距离上更靠近地表水体监控点,而流域4比流域3更为突出(图1,图2)。

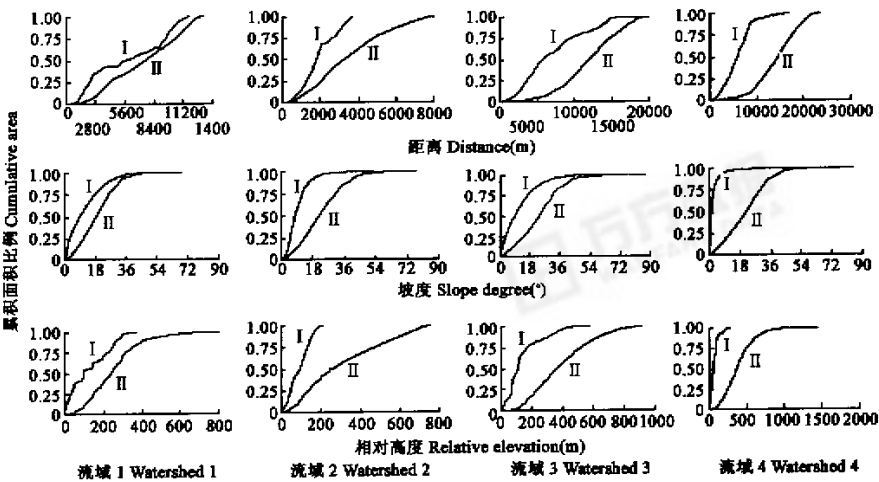


图2 典型流域两种景观类型面积累积分布曲线(以水体监控点作为原点)

Fig. 2 Cumulative area percentage curve of two landscape types with the typical watersheds (the monitored waterbody is taken as the original point)
I —“源景观”(Source landscape); II —“汇景观”(Sink landscape)

3.1.3 不同流域景观类型空间分布对比 尽管流域1和流域2均为长条状,但两种景观类型距离、坡度和相对高度空间对比指数随百分比的变化具有明显的差异(图3)。流域1随着百分比升高,两种景观类型的距离、坡度和相对高度空间对比指数基本处于不断上升趋势,而流域2基本上处于下降趋势。进一步分

析可知,在处于较低百分比水平时,流域 1 的 3 种景观空间对比指数一般低于流域 2,但在较高百分比水平时,流域 1 的 3 种景观空间对比指数又高于流域 2。由于二者之间景观空间对比指数的差异,导致了非点源污染水溶性 N 含量在季节变化上的差异。流域 3 的 3 种景观空间对比指数均明显高于流域 4。

表 1 4 个典型流域景观结构特征
Table 1 Landscape characteristics in the four typical watersheds

流域 Watershed		斑块个数 Patch number	面积 (hm ²) Area	百分比 (%) Percentage	分离度 Landscape isolation	相对重要性 Relative importance index	多样性指数 Diversity index
流域 1 Watershed 1	汇景观 ^⑨ 半成熟林 ^①	5	881.2	30.7	0.164	0.245	—
	成熟林 ^②	2	729.4	25.4	0.285	0.141	—
	高覆盖度灌丛 ^③	5	386.1	13.4	0.247765	0.162	—
	中覆盖度灌丛 ^④	4	379.5	13.2	0.279408	0.144	—
	源景观 ^⑫ 板栗林 ^⑤	7	310.3	10.8	0.23358	0.172	—
	果园 ^⑥	1	8.9	0.3	3.649052	0.011	—
	居民点 ^⑦	1	1.9	0.1	7.897657	0.005	—
	水体 ^⑧	1	22.2	0.8	2.310461	0.017	—
	农田 ^⑩	5	153.	5.4	0.39359	0.102	—
	合计 ^⑪	31	2872.5	100	—	1	0.74
流域 2 Watershed 2	汇景观 ^⑨ 半成熟林 ^①	3	509.9	30.3	0.125	0.232	—
	成熟林 ^②	5	312.2	18.6	0.124	0.234	—
	高覆盖度灌丛 ^③	2	312.4	18.6	0.195	0.148	—
	中覆盖度灌丛 ^④	2	297.8	17.7	0.200	0.145	—
	源景观 ^⑫ 板栗林 ^⑤	1	2.6	0.15	3.028	0.010	—
	果园 ^⑥	3	134.6	8.0	0.243	0.119	—
	居民点 ^⑦	1	0.3	0.02	8.914	0.003	—
	农田 ^⑩	3	113.3	6.7	0.265	0.109	—
	合计 ^⑪	20	1683.0	100	—	1	0.73
流域 3 Watershed 3	汇景观 ^⑨ 半成熟林 ^①	3	1018.7	5.9	2.935	0.056	—
	成熟林 ^②	8	6192.6	35.6	0.729	0.227	—
	高覆盖度灌丛 ^③	12	3352.2	19.3	0.809	0.205	—
	中覆盖度灌丛 ^④	11	2610.0	15.0	0.957	0.173	—
	源景观 ^⑫ 板栗林 ^⑤	16	1852.5	10.7	0.942	0.176	—
	果园 ^⑥	2	274.9	1.6	6.919	0.024	—
	居民点 ^⑦	1	13.0	0.1	44.996	0.004	—
	水体 ^⑧	1	8.2	0.1	56.655	0.003	—
	农田 ^⑩	8	2073.6	11.9	1.260	0.132	—
	合计 ^⑪	62	17395.6	100	—	1	0.74
流域 4 Watershed 4	汇景观 ^⑨ 半成熟林 ^①	8	631.6	4.8	1.487	0.178	—
	成熟林 ^②	1	9083.8	69.5	1.109	0.238	—
	低覆盖度灌丛 ^③	1	24.9	0.2	21.176	0.012	—
	中覆盖度灌丛 ^④	5	238.4	1.8	3.061	0.086	—
	源景观 ^⑫ 板栗林 ^⑤	2	48.0	0.4	10.785	0.024	—
	果园 ^⑥	7	224.7	1.7	2.664	0.099	—
	居民点 ^⑦	4	68.7	0.5	6.374	0.041	—
	农田 ^⑩	6	2750.8	21	0.823	0.321	—
	合计 ^⑪	34	13070.9	100	—	1	0.41

① Sparse woodland; ② Dense woodland; ③ High-coverage shrubland; ④ Moderate-coverage Shrubland; ⑤ Chestnut land; ⑥ Orchard; ⑦ Residential area; ⑧ Waterbody; ⑨ “Sink” landscape; ⑩ Farmland; ⑪ Total; ⑫ “Source” landscape

万方数据

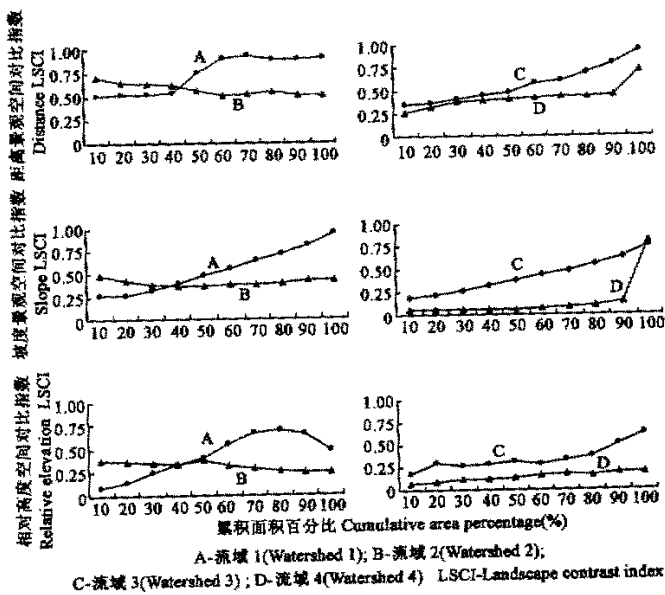


图 3 不同流域三种景观空间对比指数比较

Fig. 3 Comparison of the three landscape construct indice within different watersheds
A—流域 1(Watershed 1);B—流域 2(Watershed 2);C—流域 3(Watershed 3);D—流域 4(Watershed 4);LSCI—Landscape contrast index

表 2 遵化地区降雨量季节变化

Table 2 Seasonal change of rainfall in Zunhua area

月份 Month	多年平均降雨量 Mean		1999 年 Year		2000 年 Year	
	各月降雨量 Monthly rainfall(mm)	月累积降雨量 Accumulative rainfall(mm)	各月降雨量 Monthly rainfall(mm)	月累积降雨量 Accumulative rainfall(mm)	各月降雨量 Monthly rainfall(mm)	月累积降雨量 Accumulative rainfall(mm)
1	15.6	15.6	0.0		15.8	
2	13.2	28.7	0.0	0.0	0.0	15.8
3	13.6	42.3	11.7	11.7	6.9	22.7
4	9.9	52.3	50.3	62.0	19.2	41.9
5	6.8	59.1	13.5	75.5	84.8	126.7
6	7.5	66.6	71.3	146.8	44.9	171.6
7	147.1	213.6	109.1	255.9	73.9	245.5
8	322.4	536.0	14.6	270.5	278.0	523.5
9	124.4	660.4	60.6	331.1	60.6	584.1
10	37.4	697.8	0.8	331.9	47.6	631.7
11	28.0	725.8	27	358.9	2.0	633.7
12	22.2	748	0.3	359.2	2.80	636.5

3.1.4 干旱年份地表水中水溶性 N 时空变化特征 表 2 显示了研究地区 1999 年和 2000 年降雨量季节分布特征。1999 年该区为干旱年份(全年降雨量仅 359mm),降雨量不足常年平均值的 50%;而 2000 年全年降雨量达到 636.5mm,属于平水(偏干)年份。从图 4 可知,在干旱年份,由于没有明显的雨季,地表水中水溶性 N 季节变化规律比较一致,均呈现出丰水期>平水期>枯水期,而且变化幅度较小。不同形状流域

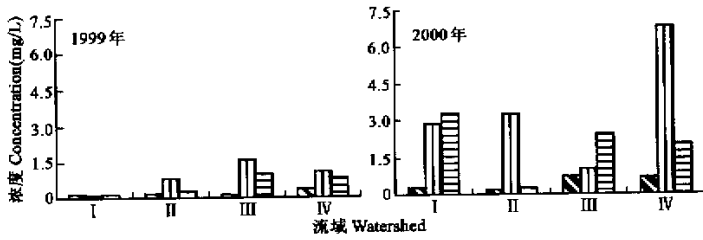


图 4 不同流域地表水中水溶性 N 年际变化比较

Fig. 4 Comparison on solvable nitrogen change in surface water within different watersheds

中水溶性 N 含量季节变化没有明显差异。

3.1.5 平水(偏干)年份水溶性 N 时空变化特征 从图 4 可知, 4 个典型小流域地表水中水溶性 N 在季节上变化规律差异明显, 可以分为两组类型: ① 类型 I, 基本特征为枯水期水溶性 N 含量最低, 丰水期升高, 但并未达到最高值, 至平水期时含量达到最高值, 该类型主要包括流域 1 和流域 3。进一步分析可以发现从枯水期到丰水期, 树枝状水系(流域 3)水溶性 N 含量上升幅度较小, 而长条状水系上升幅度较大。之后, 从丰水期到平水期, 树枝状水系上升幅度大于长条状水系。② 类型 II, 表现为枯水期地表水中水溶性 N 含量最低, 至丰水期时含量上升至最高, 至平水期水溶性 N 含量又有明显下降。而且从枯水期至丰水期, 水溶性 N 含量上升幅度较大, 同时从丰水期至平水期, 含量下降幅度也较大, 该类型包括流域 2 和流域 4。

3.2 讨论

3.2.1 降雨对地表水中水溶性 N 的影响 2000 年与 1999 年相比, 无论在哪个季节, 平水(偏干)年份地表水中水溶性 N 含量均高于干旱年份。这是因为研究地区处于中国东部半湿润低山丘陵区, 除了流域 2 因有泉水可以保证农田灌溉外, 其他地区在干旱年份农田灌溉无法得到保证。这样, 干旱年份地表水中水溶性 N 的含量实际上反映了在灌溉欠缺条件下非点源污染的变化规律。由于灌溉条件有限, 对地表水质形成的影响相对较小。平水(偏干)年份时, 由于水源相对充足, 农田灌溉增加, 地表和地下径流过程活跃, 对地表水质产生了较大影响。尤其是丰水期, 非点源污染 N 的含量明显升高。这是因为 2000 年丰水期是在一次暴雨过后进行的采样分析, 由此说明暴雨季节的土壤侵蚀对土壤中 N 的流失起到了重要作用, 直接影响了地表水体中水溶性 N 的含量。

3.2.2 季节变化对非点源污染的影响 由于在干旱年份水文期特征不明显, 反映出在灌溉欠缺条件下非点源污染 N 的季节变化也比较平稳, 而在平水(偏干)年份则季节变化较大, 出现了两种截然不同的变化特征(见 3.1): ① 对于类型 I, 该类流域“源”景观类型散布在整个流域, 暴雨季节因土壤侵蚀携带的非点源污染物, 持续缓慢地汇集至监控水体。暴雨后短期内监测到的 N 主要来源于近邻地区, 上升幅度较小, 至平水期时, 随着全流域非点源污染物的陆续汇集和地表水蒸发, 水溶性 N 含量达到最大值。② 对于流域 2 和流域 4, 由于“源”景观类型主要分布在靠近监控点的地区, 暴雨过后, 在较短时间内, 土壤侵蚀携带的非点源污染物即可汇集至监控水体, 因此导致在丰水期时非点源污染 N 的监测值最高, 平水期时随着上游地区来源于“汇”景观类型的径流不断流入, 稀释了污染水体, 因而导致非点源污染 N 的含量明显下降。

3.2.3 景观类型对地表水中水溶性 N 的影响 景观类型在流域中的相对重要性与地表水中水溶性 N 含量之间没有明显的相关关系, 反映出非点源污染 N 的形成不仅仅取决于流域中景观类型的多少和重要性, 更主要取决于各种“源”“汇”景观类型在空间的分布格局; 即使一个流域中分布有较多的“源”景观类型, 如果在“源”景观下游分布有大量的“汇”景观类型, 由“源”景观地区流失的 N/P 将会被“汇”景观有效截留, 最终到达水体的非点源污染物将十分有限, 因而流域中景观类型的相对重要性与非点源污染 N 之间没有表现出明显差异。

3.2.4 景观空间分布格局对非点源污染 N 的影响 由于流域内不同景观类型的空间分布特征不同, 而导

致了地表水中水溶性 N 的监测值出现明显差异。监测结果表明流域形状与非点源污染 N 之间的相关关系不明显,非点源污染 N 的形成主要取决于各种景观类型在空间上的分布关系。比较图 3 和图 4,可以发现景观距离空间对比指数与非点源污染 N 之间在平水(偏干)年份的丰水期和平水期表现出较好的相关关系,其他水文期没有明显的相关关系。对于景观坡度和相对高度空间对比指数,则没有明显的相关关系。由此可以看出,“源”“汇”景观离地表水体的距离将对非点源污染的形成具有较大影响。

3.2.5 在本研究中,主要从小流域角度出发,利用景观生态学的方法,研究了“源”“汇”景观空间分布格局对非点源污染形成的影响,这种研究思路同样适用于大流域中非点源污染的研究。但由于小流域面积小,景观空间异质性小,如土壤、景观的空间分异较小,考虑的因素相对较少。这种研究方法的基本前提是假定除景观类型外,其他因子在空间上是均质的。因此,在将该研究方法推广到大尺度时,不能简单地直接外推,必须进行适当的校正,在考虑景观空间异质性的同时,需要考虑其他影响因子的空间异质性和非点源污染形成过程的影响,如土壤类型、降雨、土地管理措施等。

4 结语

非点源污染不仅与农田中化肥、农药使用量、农田灌溉方式、耕作方式、地形条件等因子密切相关,而且在更大程度上将受到各种景观类型的空间分布格局的影响。本文从影响非点源污染形成过程的特性,通过对景观特征差异明显的 4 个典型小流域进行对比研究,分析了非点源污染 N 在干旱年份和平水(偏干)年份的季节动态变化特征以及与流域形状、景观空间格局之间的相互关系,得出以下结论:

(1) 研究地区平水(偏干)年份非点源污染 N 含量总体上高于干旱年份。反映出平水(偏干)年份地表径流对非点源污染物的流失起到了较大作用。

(2) 干旱年份地表水中水溶性 N 含量季节变化比较平稳,而且空间差异较小;而平水(偏干)年份非点源污染 N 季节变化较大,对于“源”景观类型集中分布在地表水体附近的流域,地表水中水溶性 N 含量在枯水期最低,丰水期明显上升,之后平水期呈快速下降趋势;而对“源”景观类型散布在整个流域的地区,地表水中水溶性 N 含量枯水期相对较低,丰水期持续上升但未达到最高值,至平水期时达到最高值。

(3) 通过对比分析,发现流域形状和景观类型在流域中的相对重要性与非点源污染 N 的形成没有明显的相关关系,而“源”“汇”景观类型的空间分布对非点源污染的形成具有较大影响。

(4) 利用景观生态学的方法,研究了“源”“汇”景观空间分布格局对非点源污染形成的影响,这种思路同样适用于大尺度研究。但由于这种研究方法的基本前提是突出景观的空间异质性而忽略其他因子的空间异质性,在将它推广到更大尺度时,不能简单地直接外推,必须进行适当的修正。

参考文献

- [1] Alm A L. Non-point Sources of Water Pollution. *Environmental Science and Technology*, 1990, **24**(7): 967.
- [2] Line D E, *et al.* Nonpoint sources pollution. *Wat. Environ. Res.*, 1998, **70**(4): 895~911.
- [3] Line D F, Osmand D L. Coffey S W, *et al.* Non-point sources. *Water Environment Research*, 1994, **66**(4):585~601.
- [4] Chen Liding(陈利顶), Fu Bojie(傅伯杰). Farm ecosystem management and control of nonpoint-source pollution. *Environmental Science(in Chinese)(环境科学)*, 2000, **21**(2):98~100.
- [5] He Chansheng(贺缠生), Fu Bojie(傅伯杰), Chen Liding(陈利顶). Nonpoint-source pollution control and management. *Environmental Science(in Chinese)(环境科学)*, 1998, **19**(5):87~91.
- [6] Heathwaite L, Sharpley A and Giburek W. A conceptual approach for integrating Phosphorus and nitrogen management at watershed scales. *J. of Environ. Qual.*, 2000, **29**(1):158~166.
- [7] Troiano J, *et al.* Influence of amount and method of irrigation water application on leaching of Atrazine. *J. of Environ. Qual.*, 1993, **22**:290~298.
- [8] Zhang Shuilong(张水龙), Zhuang Ji(庄季). Trend and current situation of agricultural nonpoint-source pollution. *Ecology(in Chinese)(生态学杂志)*, 1998, **17**(6):51~55.
- [9] Ebbert J C and M H Kim. Soil processes and chemical transport. *J. Environ. Qual.*, 1998, **27**:372~380.

- [10] Knisel W G ed. *CREAMS: a field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management system*. Report No. 26, ARS, USDA, 1980.
- [11] Pearce R A, *et al.* Efficiency of grass buffer strips and vegetation height on sediment filtration in laboratory rainfall simulation. *J. Environ. Qual.*, 1997, **26**:139~144.
- [12] Peterjohn W T and D L Correll. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. *Ecology*, 1984, **65**:1466~1475.
- [13] Li Xiuzhen(李秀珍), Xiao Duning(肖笃宁), Hu Yuanman(胡远满), *et al.* Effect of wetland landscape pattern on nutrient reduction in the Liaohe Delta. *Acta Geographica Sinica*(in Chinese)(*地理学报*), 2001, **56**(1):32~133.
- [14] Fu Bojie, Ma Keming, Zhou Huafeng, *et al.* The effect of land use structure on the distribution of soil nutrients in the hilly area of the loess plateau, China. *Chinese Sciences Bulletin*(in Chinese)(*科学通报*), 1999, **44**(8):732~736.
- [15] Yin C, *et al.* A multi-pond system as a protective zone for the management of lakes in China. *Hydrobiologia*, 1993, **251**:321~329.
- [16] Wang Guoxiang (王国祥), *et al.* The purification of artificial complex ecosystem for local water in Taihu Lake. *China Environmental Science*(in Chinese)(*中国环境科学*). 1998, **18**(5):410~414.
- [17] Stow CA, Borsuk ME, Stanley DW Long-term changes in watershed nutrient inputs and river exports in the Neuse River, North Carolina. *Water Research*, 2001, **35**(6):1489~1499.
- [18] Young R A, Onstad C A, Bosch D D, *et al.* AGNPS, Agricultural non-point source pollution model: a water analysis tool. Conservation Research Report 35, ARS, USDA, Washington, D. C., 1987.
- [19] Wang Gang(王刚), Guo Baiquan (郭柏权). Analysis of the present water body status and the countermeasures of pollution control of Yuqiao Reservoir. *Urban Environment and Life*(in Chinese)(*城市环境与城市生活*), **12**(2):27~28.
- [20] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, *et al.* Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1988, **1**:153~162.
- [21] Fu Bojie(傅伯杰). Landscape diversity analysis & mapping. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(*生态学报*), 1995, **15**(4):345~350.
- [22] Pearce M C. Pattern analysis of forest cover in southwestern Ontario. *The East Lakes Geographer*, 1992, **27**:65~76.
- [23] Chen Liding(陈利顶), Fu Bojie(傅伯杰). Analysis to impact of human activity on landscape structure in Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(*生态学报*), 1996, **16**(4):337~344.