

平原城市河流面源污染研究范围及方法的选择与效果比较

孟祥巍, 许学工*

北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871

摘要: 由于平原城市地貌起伏不大, 较难划分城市河流的流域范围, 使得与河道面源污染相关的研究范围的边界确定存在一定的困难。针对这一问题, 本文对比了基于缓冲区和排水区的两种研究范围及方法。根据遥感影像, 利用 GIS 提取研究区内土地利用信息并与河流水质进行回归分析, 对比两种范围及方法所得出的结果, 试图为城市河道污染物的研究及管理提供方法支持和理论依据。本文选取了天津滨海地区 11 条河流进行研究, 结果表明: (1) 选取城市排水区作为土地利用数据的方法能够与河流中污染物的发生、迁移的真实情况相符合, 能够综合考虑不同的景观格局分布对于水质的影响, 结合平原城市的特殊性反映土地利用与河流污染物之间的相关关系, 在机理严谨性上优于使用缓冲区范围, 在整体性上更为完整; (2) 基于缓冲区的研究方法能够在一定程度上解释在地表径流作用下, 河流近岸不同距离的土地利用类型对河流污染物的影响, 如耕地对污染物的影响, 河流近岸 100 m 缓冲区的联合显著性为 0.848, 300 m 缓冲区的仅为 0.165; (3) 土地利用类型对河流中污染物类型的贡献和消减趋势基本一致, 城市居民点与工矿用地是河流当中重金属污染物如铅、汞的主要输入源; 耕地对重金属等污染物有一定的截留消减作用, 但在面积较大时增加了河流的有机污染物如氨氮; 林地、园地、草地和水体对于城市河流污染物有一定的净化作用。两种方法结合起来可以得出更为详尽、客观的研究结果。

关键词: 土地利用; 城市河流污染物; 缓冲区; 排水区

中图分类号: X522

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2014) 01-0145-06

引用格式: 孟祥巍, 许学工. 平原城市河流面源污染研究范围及方法的选择与效果比较[J]. 生态环境学报, 2014, 23(1): 145-150.

MENG Xiangwei, XU Xuegong. The studied area selection and result comparison of river non-point source pollution in plain urban area [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(1): 145-150.

继点源污染之后, 面源污染成为城市河道水质研究的主要内容。有研究表明土地利用与水体的质量之间存在相互作用(李文杰和张毅, 2009), 土地利用方式和土地覆被变化可以显著地影响水体质量。目前这方面的研究, 在土地利用数据提取范围的选取上主要有以下几种方法:

1) 在河流两岸一定范围内建立缓冲区来选取土地利用数据, 如以杭州城五条典型河流为研究对象(官宝红等, 2005), 利用与水质监测数据相同年份的影像, 从小尺度上研究和分析城市内部土地利用结构和景观格局与河道水质的关系。以河流为中心线划分 100 m、200 m、300 m 的缓冲区, 以每一个缓冲区为一个研究单元对河流污染物进行回归分析。

2) 在城市河流滨岸选取土地利用数据。如对上海市苏州河的研究(汪冬冬等, 2009)。这类研究在狭义定义的基础上, 指河水陆地交界处的两边直至河水影响消失为止的地带(GREGORY 等, 1991; 邓红兵等, 2001), 结合城市河流和自然河流的差异,

将城市河流滨岸带界定在自河水和护岸的交界处直至护岸带以外 100 m 左右。

3) 根据 GIS 划分城市河道水系流域。如对京津地区的温榆河等 11 个小流域的研究(王娇, 2012), 分别从小流域综合分析和小流域聚类分析两个角度, 分析土地利用类型及其社会经济特征与河流水质的关系, 以 1:50000 地形图为准, 利用水系图对高程进行校正, 划分出京津地区的流域水系图。

前两种方法并不能排除缓冲区以外、滨岸带以外的土地利用状况对水质没有影响, 而高差极小的平原城市(如天津)又很难用 GIS 直接划分城市河道的流域范围。鉴于此, 本文将城市河道作为研究对象, 通过缓冲区土地利用结构的计算和排水区内景观指数的总结来分析土地利用和河流水环境质量之间的关系。

随着 RS 和 GIS 技术的迅速发展, 这两者的结合也成为研究土地利用格局变化与自然地理要素之间的重要关系的重要工具和方法(傅伯杰等,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41271102; 40830746)

作者简介: 孟祥巍(1988年生), 男, 硕士研究生, 研究方向为资源管理与区域开发。

*通讯作者, 教授, E-mail: xxg@urban.pku.edu.cn

收稿日期: 2013-09-11

2003; 龙花楼, 2003; 帅红和夏北成, 2006), 本文采用此法试图对河流污染物这一环境要素与土地利用结构和格局这一地理空间要素之间的关系进行阐述, 并反映其内在联系。

1 研究区域、数据来源与方法设计

本文的研究区是天津滨海地区, 包括天津滨海新区, 如塘沽、汉沽和大港以及部分主城区范围。研究区地处华北平原东北部, 海河流域下游, 地貌主要是平原, 少量山地、丘陵; 天津滨海新区位于滨海平原之上, 湿地水域面积辽阔, 原是盐碱地和未利用土地的集中分布区。随着天津市社会经济的快速发展, 土地利用状况发生着巨大的变化, 天津市的水体质量也产生一定程度的下降。因此, 天津市土地利用结构及景观格局的变化对城市河道产生着影响。而这种影响可以通过河流中污染物的数值来体现。

本研究的土地利用数据来源于 2008 年的 TM 遥感数据, 根据实地观测以及影像目视解译得到。水质指标数据来源于 2008 年天津市环境质量报告书, 主要选取了 11 条河流和 9 个水质指标 (pH、溶解氧、高锰酸盐指数、生化需氧量、氨氮、石油类、挥发酚、总汞、总铅)。研究中的其他数据来源于全国地形图、2008 年天津市统计年鉴以及实际调查等。

本研究对分布在研究区域内的 11 条主要河流和河段, 包括潮白新河、独流减河、北排水河、青静黄排水渠、海河市区段、海河入海段、蓟运河、金钟河、永定新河、子牙河、子牙新河进行了提取, 标注出了实际污染物监测点位置, 如图 1 所示。

本文采用了两种方法: 1) 基于缓冲区进行研

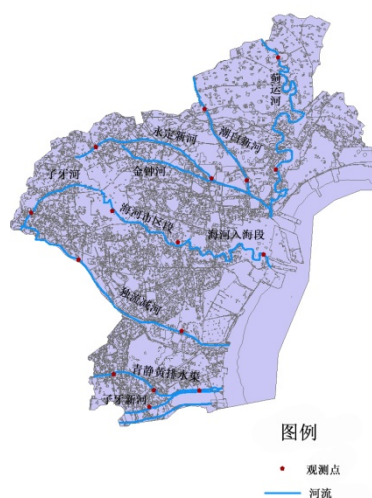


图 1 研究区域河流及监测点

Fig.1 River and sample site distribution in study area

究, 即利用 GIS 软件对上述河流做 100 m、200 m、300 m 的缓冲区提取, 获得相应范围内的土地利用类型, 然后与水质进行相关分析; 2) 基于城市排水管道所划分的排水小区进行土地利用选取 (天津市水利勘测设计院, 2008), 充分考虑了城市河流污染物的来源, 并依据不同的河流将对应的排水区数字化, 利用 GIS 分析, 试图对城市河流非点源污染做出更为合理的解释。

2 基于缓冲区的研究

2.1 缓冲区土地利用数据获取

利用 GIS 软件对这些河流做了 100 m、200 m、300 m 的缓冲区提取, 获得相应范围内的土地利用类型, 其中, 土地利用类型主要包括耕地、绿地、城市建设用地、交通用地、盐碱地、水体、未开发利用土地, 分析了各个区域内土地利用类型所占比例, 如图 2。

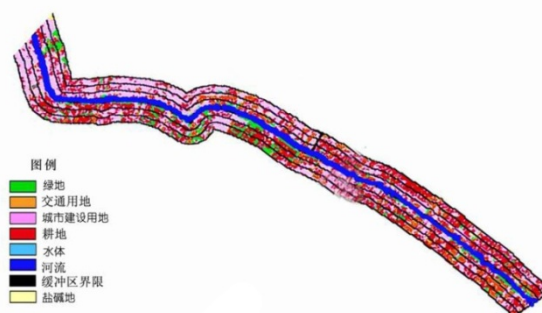


图 2 河流沿岸缓冲区土地利用类型

Fig.2 Land use types in buffer area along the river

将各个河流按照监测点的位置选取断面, 并将河流周围土地利用类型的比例按照缓冲区距离的不同, 在地理信息系统软件下做了斑块合并的处理, 计算出土地利用结构占比。

2.2 回归分析

天津市河流缓冲区土地利用类型主要以城市建设用地为主, 在海河入海段与海河市区段最为明显。在不同的缓冲区当中, 以河流污染物为自变量分别对缓冲区的土地利用结构以及景观格局做线性回归分析, 回归模型如下:

$$Y=b+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3+a_4x_4+a_5x_5+a_6x_6+\dots+a_nx_n$$

得到的系数以及显著性如表 1。

2.3 结果分析

(1) 天津海岸带城市土地利用类型对城区河流的水质有重要影响。主要表现为离河流越近, 土地利用结构和景观格局与河流污染物的相关性越强, 主要从联合显著性的逐渐增加表现出来。在缓冲区为 100 m 时, 基于联合显著性水平, 土地利用结构

表 1 缓冲区土地利用与污染指数的相关性

Table 1 Correlation between land use and water pollutants index in buffer areas

土地利用类型	缓冲区距离 (M)	溶解氧	高锰酸盐指数	生化需氧量	氨氮	石油类	挥发酚	总汞	总铅	联合显著性
耕地	100	0.034	-0.01	0.302*	0.113*	-0.254	-0.254	-0.184	-0.006	0.848
	200	0.020	-0.01	0.005	0.013	0.516	-0.261	-0.326	-0.002	0.778
	300	0.021	-0.007	0.006	0.009	0.42	-0.17	-0.066	-0.001	0.165
绿地	100	-0.04	-0.102*	0.013	-0.001	-0.306*	-0.02	-0.31	0.006	0.706
	200	0.039	-0.001	0.015	-0.008	-0.239*	-0.304	-0.063	0.005	0.549
	300	-0.028	-0.008	0.017	-0.004	-0.041	-0.458	-0.688	0.002	0.225
城市建设用地	100	-0.153	0.076	0.025	0.072	2.943	0.383	7.83*	0.033*	0.905
	200	-0.197	0.118	0.002	0.146	4.651	2.808	12.54	0.053	0.746
	300	-0.106	0.036	0.009	0.055	1.912	1.064	4.145	0.02	0.225
交通用地	100	-0.009	0.007*	0.001	-0.008*	0.242	0.335	0.707*	0.003*	0.296
	200	0.028	-0.008	-0.003	0.01	0.42	-0.125	-1.021	-0.006	0.165
	300	0.029	0.001	-0.005	0.003	0.261	-0.108	-0.452	-0.004	0.295
盐碱地	100	-0.002	0.001	-0.003	0.003	0.026*	-0.079	-0.02	0.001	0.723
	200	0.038	-0.018	-0.008	0.028	0.777	-0.715	-1.948	-0.01	0.155
	300	0.037	-0.005	-0.009	0.018	0.463	-0.688	-0.748	-0.007	0.11
水体	100	0.104	-0.038	-0.203	-0.036*	-1.778	-0.047	-5.066	-0.123	0.556
	200	0.054	-0.03	-0.006	-0.042	-1.356	-0.747	-3.744	-0.018	0.043
	300	-0.011	-0.006	0.003	-0.008	-0.346	-0.012	-0.993	-0.005	0.289
未利用土地	100	0.064	-0.03	0.014	0.029	1.004	-0.326	-3.219	-0.012	0.832
	200	0.097	-0.052	0.01	0.062	1.820	-1.264	-5.446	-0.022	0.82
	300	0.057	-0.011	0.01	0.02	0.463	-0.544	-1.198	-0.005	0.992

*表示 p 值小于 0.05, 统计值显著

和景观格局与水质质量表现出显著的相关性;随着缓冲区距离的增加,这种相关性水平逐渐减弱。因为离河流两岸越近的土地利用类型在地表径流作用下对排入河流污染物的影响越大,所以河流近岸缓冲区分析能够在很大程度上解释这种相关关系。

(2)从系数的正负关系可以看出,绿地、水体,耕地能起到部分污染物如石油类、高锰酸盐、总汞等的净化作用,在污染物输出的多少和对污染物的滞留能力上,耕地产生的有机污染物包括氨氮及生化需氧量远远大于城市建设用地和交通用地,而其对污染物的截留能力却小于绿地和水体,这在其他人的研究中有相同结论(鲍全盛和王华东,1996)。随着城镇用地、耕地比例的增加,城市河道中污染物的浓度有增大的趋势。各种研究也表明城镇用地的地表径流是造成非点源污染重要原因之一(傅伯杰等,2001)。

3 基于排水区的研究

3.1 排水区的提取和水系处理

天津市排涝规划所划分的城市排水区,确定天津市滨海地区的排水小区范围,共分为 7 个排水区,并将其在 GIS 当中数字化。确定位于排水区之中的主要水系河流,并将河流进行归并。最后根据各个排水区内河流的水质综合指数,得出各个排水区的河流水质状况。图 3 为永定新河排水区土地利用情况。

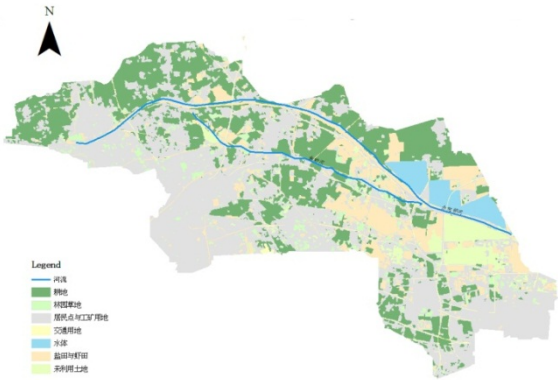


图 3 永定新河排水区土地利用图

Fig.3 Land use type of Yongding xin river drainage area

3.2 排水区不同土地类型的景观指数计算

根据排水区当中不同土地利用类型斑块的数量,面积等景观要素,计算出不同排水区的景观多样性指数、景观优势度以及景观均匀度。其中景观多样性指数采用香农-维纳多样性指数(E.F.1998; LI 和 WU,2004) Shannon Wiener's diversity index 即

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \times \ln P_i$$

其中 P_i 是第 i 种土地利用类型在排水区当中所占的比例。景观均匀度反映景观格局中各类型面积和数量上分配的均匀程度,其值越大表明各景观类

表 2 永定新河排水区景观指数计算
Table 2 Landscape index in Yongding xin drainage area

土地利用类型	土地面积 (平方公里)	斑块数	百分比	破碎度	分离度	重要性	多样性	优势度
耕地	395.744	537	27	1.357	3.004	0.273		
交通用地	21.750	36	2	1.655	211.078	0.015		
居民点与工矿用地	630.609	550	44	0.872	1.863	0.436		
林园草地	58.362	563	4	9.647	19.892	0.040		
水体	251.851	347	17	1.378	5.871	0.174		
未利用土地	43.406	141	3	3.248	53.444	0.030		
盐田与虾田	46.123	3	3	0.065	344.803	0.032		
总计	1447.844	2177	100			1	1.428	0.518

型面积上的分配越均匀。对各排水区做出用地百分比,景观破碎度、景观优势度等指数,以永定新河排水区为例,如表 2 所示。

3.3 结果分析

将各排水区水质质量状况与景观格局和土地利用特点进行汇总,如表 3 所示。

通过以上排水区土地利用情况与水环境质量的关系研究主要得出以下几点比较明显的结果。

(1) 当流域当中居民点与工矿用地较多时,表现出排水区的水环境质量较低,这是因为城镇用地的地表径流是造成非点源污染重要原因之一,其他人的研究也有同样结论(张刚等, 2007; 张健春, 2001)。海河水质较好与流经主城区治理力度大有关。而在以耕地或城镇用地为主的土地利用结构中,如果绿地或水体占有一定的比例,那河道水面水质会有所提高。这同样表明水体绿地有利于非点源污染的控制。

(2) 当林园草地面积较大,且破碎化程度较低,斑块表现较为连续的时候,流域的水环境质量较高,这是因为绿地、水体,耕地能起到部分污染物的净化作用(天津市环境保护科学研究所, 1991),这些土地利用类型对地表径流中的污染物有一定的截留制作用,而城市建设用地、交通用地作为污染物的

产生源,随径流进入水体的污染物较多,成为了水体污染物的“源”。

(3) 耕地对于水环境质量的贡献尚无明确结论(LAPP 等, 1998),当耕地占有一定优势时,水环境质量有稍微改善,但是当耕地面积较大时,水环境质量会表现出下降的趋势。这是因为耕地使用化肥产生的有机污染物包括氨氮及生化需氧量远远大于城市建设用地和交通用地(PETERJOHN 和 CORREL, 1984),而其对工业污染物的截留能力却小于绿地和水体。随着城镇用地、耕地比例的增加,城市河道中污染物的浓度有增大的趋势(SAIKH 等, 1998),因为这两种土地利用类型是受人类活动影响较为强烈的地段,非点源污染将更加严重。

4 讨论: 两种研究范围及方法的比较

比较以上两种方法做出的天津市滨海地区土地利用与河流水质的分析,可以看出:

(1) 基于排水区的土地利用划分与河流综合水质相结合的分析方法得到的结论更具有层次性,也较为全面,能够综合考虑不同的景观格局分布对于水质的影响。在机理的解读方面,因为城市规划部门会根据地表情况及地质构造来划分城市排水区,每个排水区范围内的雨水径流和污水均会排入一条特定的河道。所以利用排水区能够更好的考虑到平

表 3 排水区水质质量与土地利用特点汇总
Table 3 Land use characters and water qualities in drainage areas

排水区	河流综合水质	土地利用类型特点
直排入海段 海河市区段	III类	居民点与工矿用地占主要优势,耕地占次高优势,水域的破碎程度较大,耕地的破碎程度较低,分离程度也较低,多样性指数和优势度指数都较为平均。
蓟运河排涝区	IV类	耕地占绝对优势,居民点与工矿用地表现出次高优势,林园草地所占比例较低,整个区域优势度指数较高,多样性指数较低,耕地的分离程度很低。林园草地的破碎化程度较高。
永定新河排涝区	IV类	居民点与工矿用地占绝对优势,林园草地所占比例较低,整个区域优势度指数最高,多样性指数最低,斑块分布较为分散,表现出林园草地的破碎程度较高。
独流减河排涝区	II类	盐田与虾田,水域和林园草地占据主要优势,居民点与工矿用地所占比例次高,,耕地面积很少,且分离程度很大。多样性指数较高,优势度指数相对较低。
潮白新河排涝区	II类	流域中耕地占主要优势,其他类型用地所占比例较小。耕地的破碎化程度较低,分离程度较低。整个的景观的优势度指数较高,景观多样性指数较小。
子牙新河 青静黄排涝区	III类	流域中未利用土地和水体本身所占比例较大,耕地和居民点与工矿用地所占的比例较小,林园草地的破碎化程度较高,整个的景观优势度很低,景观多样性指数最大。

原城市特殊性,不同用地上所承载的人类活动所产生的污染物以及土地自身的净化作用所吸收的污染物都可反映在进入排水区的水源中,排水区相当于城市河道的流域,根据排水区提取的土地利用更符合实际情况。因此,在机理严谨性上比使用缓冲区范围要好,在整体性上更为完整。

(2) 基于缓冲区的研究方法能够在一定程度上解释在地表径流作用下,河流近岸不同距离的土地利用类型对河流污染物的影响,如耕地对污染物的影响,河流近岸 100 m 缓冲区的联合显著性为 0.848, 300 米缓冲区仅为 0.165。因此,基于缓冲区的研究方法可以依据各个回归系数的正负情况和大小来判断土地利用类型与特定污染物的关系,同时根据联合显著性随缓冲区距离增大而递减的特性可以大体判断地表径流作用最显著的区域。

(3) 土地利用类型对河流中污染物类型的贡献和消减趋势是一致的,如绿地和水体对污染物起到的净化作用和城市建设用地对污染物的贡献作用。两种方法结合起来可以得出更为详尽、客观的研究结果。

5 结论

(1) 城市居民点与工矿用地是河流当中重金属污染物如铅、汞的主要输入源;耕地对重金属等污染物有一定的截留消减作用,但在面积较大时增加了河流的有机污染物如氨氮,生化需氧量等;林地、园地、草地和水体对于城市河流污染物有一定的净化作用。

(2) 本研究为平原城市的河流水质与土地利用关系的研究提供了新的“流域”选取方法,结合本研究的结论,城市河道的管理者可以从近岸和排水区域两方面入手来提高和改善河流污染物现状,在近岸尺度上可以通过调整土地利用类型比例,如建立河流两岸绿色廊道,增加绿地面积,减少污染物排入河道和增加污染物消减能力;在排水区域尺度可以通过改良排水管道和污染物迁移路径,控制城市建设用地、工矿用地比例,设置排放标准控制等方法来进行流域的综合治理,使城市河流水质得到根本的改善。

参考文献:

- GREGORY S.V., SWANSON F.J., McKee W.A., et al.1991.An Ecosystem Perspective of Riparian Zones[J].Bioscience, 41: 540-551.
- Li H.B., WU J.G.. Use and misuse of landscape indices[J]. Landscape Ecology, 2004, 19: 389-399.
- PAUL Lapp, MADRAMOOTOO C.A., ENRIGHT P., et al.1998.Water quality of an intensive agricultural watershed in Quebec[J].Journal of American Water Resource Association, 32(2): 427-430.
- PETERJOHN W.T., CORREL D.L..1984.Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of an riparian forest[J]. Ecology, 65(5):1466-1475.
- SAIKH H.,VARADACHARI C.,GHOSH K..1998.Changes in carbon , nitrogen and phosphorus levels due to deforestation and cultivation :A casestudy in Simlipal National Park, India. Plant and Soil, 198: 137-145.
- 鲍全盛,王华东.1996.我国水环境非点源污染研究与展望[J].地理科学,16(1): 66-71.
- 邓红兵,王青春,王庆礼等.2001.河岸植被缓冲带与河岸带管理[J].应用生态学报,12(6): 951-954.
- 傅伯杰,陈利顶,王军,等.2003.土地利用结构与生态过程[J].第四纪研究, 23 (3) :274-277.
- 傅伯杰,郭旭东,陈利顶等. 2001 .土地利用变化与土壤养分的变化——以河北省遵化县为例[J]. 生态学报, 21 (6):926-931.
- 官宝红,吴国华,曾爱斌,等.2005.京杭运河杭州段水污染源特征与截污措施建议[J].给水排水,31 (2): 1-51.
- 蒋火华,朱建平,梁德华等. 1999.综合污染指数评价与水质类别判定的关系[J].中国环境监测,15 (6) :46-49.
- 李文杰,张毅.2009.梁子湖流域土地利用变化对流域水环境的影响[D].华中师范大学:1-8.
- 龙花楼.2003.土地利用转型—土地利用/ 覆被变化综合研究的新途径[J]. 地理与地理信息科学,19 (1) : 87-99.
- 帅红,夏北成.2006.广佛区域土地利用结构对非点源污染的影响[J].热带地理,26 (3) :229-233.
- 天津市环境保护科学研究所.1991.于桥水库富营养化及防治研究[R].天津:天津市环境保护科学研究所.
- 天津市水利勘测设计院. 2008. 天津市排涝规划[R].
- 汪冬冬,施展,杨凯,等.2009.城市河流滨岸带土地利用变化的环境效应——以上海苏州河为例[J]. 中国人口·资源与环境, 13 (3) : 96-101.
- 王娇,马克明,张育新,等.2012.土地利用类型及其社会经济特征对河流水质的影响 [J].环境科学学报,32(1):57-65.
- 张刚,王德建,陈效民.2007.太湖地区稻田缓冲带在减少养分流失中的作用[J].土壤学报,44(5):873-877.
- 张建春.2001.河岸带功能及其管理[J].水土保持学报,15(6): 143-146.

The Studied area selection and result comparison of river non-point source pollution in plain urban area

Meng Xiangwei, XU Xuegong

College of Urban and Environmental Sciences, Peking University; Key Laboratory of Analysis and Simulation of Ear the Surface Processes, Ministry of Education, Beijing 100871, China

Abstract: As the plain urban area doesn't show much difference in topography conditions, the usage of traditional river basin concept

applying in plain urban area is not convincing. Thus, it's hard to make an identification of effective border of the land use that can impact the relevant river water quality. To solve this issue, this paper compares the final results based respectively on the traditional buffer zone and drainage area method. Using 11 rivers' pollutants in Tianjin Coastal region and RS image, this paper apply GIS to study the correlation between land use and water quality by analyzing land use buffer data along the river banks and selecting land use data in drainage area, trying to provide methods and theories support to analyze and manage the rivers' pollutants in plain urban area. The preliminary results showed that (1) The drainage area method can better illustrate the relationship between water quality and urban land use by taking full consideration of urban specialties such as water pollutant occurrence, movement and the impact of different landscape on water quality. It's more theoretically convincing and comprehensive compared with the buffer zone analysis. (2) The buffer zone analysis can explain the influence on water quality under the effect of surface runoff to a certain extent. The negative correlation between the distance of buffer zone and the joint significance level can be used to identify the key area. For example, the joint significance level for arable land within 100 meters buffer zone is 0.848 and that number decreases to 0.165 as buffer zone expands to 300 meters. (3) Both methods show the same pattern for the relationship between water pollutant and land type. Urban construction land use will increase the water pollutant such as Pb and Hg; the arable land can reduce the heavy metal pollutant but will increase the organic pollutants such as ammonia as the area of arable land gets bigger; the grass land and water body will serve as the cleaner of the pollutants and help to improve the water quality. The combination of these two methods can help to get the result more objectively and comprehensively.

Key words: Land use; Urban River Pollutants; Buffer Zone; Drainage Area