

汉江流域荆门段面源污染负荷时空分布与污染现状评价

许策^{1,2,3}, 李晔³, 束继年¹, 李松炳⁴, 李明高⁴

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100084; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 武汉理工大学, 湖北 武汉 430063; 4. 湖北省环境科学研究院, 湖北 武汉 430072)

摘要: [目的] 对汉江流域荆门段面源污染负荷时空分布与污染现状进行分析和评价, 为汉江水污染的治理提供科学依据。[方法] 利用输出系数模型和等标负荷估算法, 对汉江流域荆门段的面源污染负荷进行了空间分析和负荷估算, 包括总氮(TN)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)和氨氮(NH₃-N), 得出了汉江流域荆门段面源污染负荷及其空间分布状况。[结果] 在所有污染源中, 农村生活、畜禽养殖、降雨、土地利用和城镇径流是 5 个主要的面源污染源; 该地区各市县总氮和总磷污染负荷与 COD 和氨氮污染负荷的输出量的排序均表现为: 钟祥市>沙阳县>东宝区>掇刀区; 各类污染源总氮贡献率排序为: 农村生活>农业用地>畜禽养殖>降雨>非农业用地; 各类污染源总磷贡献率排序为: 畜禽养殖>农村生活>农业用地>非农业用地>降雨。[结论] 总体来说, 河流富营养化主要是由于农村污染物未经处理排放或处理措施不当引起的。

关键词: 富营养化; 面源污染; 污染负荷; 等标负荷污染系数; 流域污染控制

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)04-0063-06

中图分类号: X522

文献参数: 许策, 李晔, 束继年, 等. 汉江流域荆门段面源污染负荷时空分布与污染现状评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 63-68. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.011; Xu Ce, Li Ye, Shu Jinian, et al. Spatial distribution and evaluation of non-point pollution source in Jingmen region of Hanjiang watershed [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4): 63-68. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.011

Spatial Distribution and Evaluation of Non-point Pollution Source in Jingmen Region of Hanjiang Watershed

XU Ce^{1,2,3}, LI Ye³, SHU Jinian¹, LI Songbing⁴, LI Minggao⁴

(1. Ecological Environment Research Center of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10008, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei 430063, China; 4. Hubei Provincial Environmental Science Research Institute, Wuhan, Hubei 430072, China)

Abstract: [Objective] To provide scientific basis for the water pollution control of Hanjiang, the estimation based on the temporal and spatial distribution of non-point source pollution in Jinmen region of Hanjiang watershed was conducted. [Methods] The export coefficient model and the equivalent standard pollution index method were used to illustrate the temporal and spatial distribution and estimated the loads of the non-point source pollution in Jinmen region of Hanjiang watershed, including TN, TP, COD and NH₃-N. [Results] Rural domestic wastes, livestock breeding, rainfall, land use and urban runoff are the major sources of non-point pollution. Based on the pollution stress, spatial distribution of the pollution source load of different cities was found in the following order: Zhongxiang City>Shayang County>Dongbao District>Duodao District. The contribution of different pollutant sources had a rank of urban runoff<rainfall<land use<rural domestic wastes<livestock breeding. [Conclusion] The poor management of pollutants, particularly of the sewage (none or inappropriate treatment), might be the prominent reason of river eutrophication.

Keywords: eutrophication; non-point pollutant; pollution load; equivalent standard pollution index; watershed pollution management

收稿日期: 2016-12-08

修回日期: 2017-01-18

资助项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项“库区小流域磷污染综合治理及水华控制研究与示范”(2012ZX07104-002)

第一作者: 许策(1991—), 男(汉族), 河北省保定市人, 硕士研究生, 研究方向为环境科学。E-mail: 417716152@qq.com。

通讯作者: 束继年(1966—), 男(汉族), 安徽省六安市人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事水溶胶化学方面的研究。E-mail: jshu@rcees.ac.cn。

随着对工业废水和城市生活污水等点源污染的有效控制,农业生产和生活引起的农业面源污染已成为水环境污染的最重要来源^[1]。目前,在全球范围内,农业面源污染的形式已经非常严峻。据调查,到目前为止,已经有 30%~50% 的地球表面受到不同程度的面源污染的影响,同时,由农业面源污染引起的耕地污染,约占全球不同程度退化的 1.20×10^9 hm² 耕地的 12%^[2]。目前,我国受污染的水体中,来自工业,生活污水和农业面源污染的氮磷污染物大约各占 1/3。我国湖泊的氮、磷 50% 以上来自于农业面源污,受面源污染影响,7 大水系劣 V 类水所占比例为 27.9%^[3-4]。农业面源污染已成为影响我国农村生态环境质量的重要污染源,并制约我国现代农业的发展^[5-11]。应用数学模型对农业面源污染进行模拟和估算是研究面源污染的重要手段^[11-12]。国内外,已有许多学者^[13-16]建立了多种针对农业面源污染的评价模型,对不同区域进行了污染负荷的估算和分析。输出系数模型法是利用相对容易得到的流域土地利用类型等数据,通过多元线性相关分析,直接建立流域土地利用类型与面源污染输出量之间的关系,然后通过对不同污染源类型的污染负荷求和,得到研究区域的污染总负荷。早期的输出系数模型假定所有土地利用类型的输出系数都相等,这种假设与实际情况相差较大。Johns 等^[12]1996 年在输出系数模型中加入了牲畜和人口等因素的影响,综合考虑了土地利用类型、牲畜数量和分布状况、农村居民的面源污染物排放和处理水平等不同污染源类型的输出系数,建立了更为完备的输出系数模型。该模型在大尺度流域面源污染负荷的研究中表现出其独特的优越性。本研究通过调查汉江流域荆门段分散式农村污染源分布及人口,应用输出系数模型和等标负荷法分析农村生活源、农药化肥污染物、畜禽养殖和农业种植的总磷(TP),总氮(TN),氨氮(NH₃-N),化学需氧量(COD)和生化需氧量(BOD)等污染负荷量,对其空间分布特征进行分析,为汉江水污染的治理提供依据。

1 研究区域概况

本文以流经汉江流域荆门段的竹皮河流域为研究区域,就其面源污染展开调查和分析。荆门市位于湖北省中部,地处江汉平原向鄂北岗地的过渡带,水域面积 1.85×10^5 hm²,地表水、地下水总量为 4.01×10^9 m³。竹皮河是流经该市的唯一一条自然河流,是影响汉江流域荆门段面源污染的主要水系。竹皮河流域地区包括钟祥市、沙阳县、东宝区、掇刀区。其中,钟祥、屈家岭全域属汉江流域,东宝 56%、掇刀

55% 以上属汉江流域,京山 95% 以上国土面积属汉江流域,沙洋 25% 的国土面积属汉江流域^[13-15]。望志方在汉江水质与污染物的时空差异分析中显示:竹皮河河水中的总 TP, NH₃-N, COD, BOD 皆超标,2007—2009 年竹皮河总磷年均值对应的水质类别均为劣 V 类^[16]。

2 研究方法

2.1 基础数据的获得

本文非点源现状的调查采用资料收集与文献调研的方法,以荆门市的统计年鉴和中国自然资源数据库作为基本的数据来源,并结合相关文献资料和政府统计报告。通过竹皮河流域地区相关县市国民经济和社会发展统计公报以及各区县统计年鉴,得到 2012 和 2014 年竹皮河流域各县市的各类土地利用面积以及畜禽、农村人口数量,累加得到竹皮河流域地区 2 a 的基础数据资料。

2.2 模型的选择

2.2.1 输出系数模型 本研究根据研究区域的资源利用和分布特征,选取 Johns 模型用于分析。Johns 等建立的输出系数模型方程为:

$$L_j = \sum_{i=1}^n E_{ij} [A_i (I_i)] + P \quad (1)$$

式中: L_j ——污染物 j 在流域的总负荷量 [kg/(hm² · a)]; i ——流域中的土地利用类型,共 n 种; E_{ij} ——污染物 j 在第 i 种土地利用类型中的输出系数 (kg/hm²) 或第 i 种畜禽每头排泄系数 (kg/a) 或人口每人输出系数 (kg/a); A_i ——流域中第 i 种土地利用类型的面积 (hm²) 或第 i 种牲畜数量 (头) 或人口数量 (人); P ——由降雨输入的污染物总量 [kg/(hm² · a)]。

降雨产生的营养物输入量 P 可表示为:

$$P = c \cdot a \cdot Q \quad (2)$$

式中: c ——雨水中营养物浓度 (g/m³); a ——年降雨量 (m³); Q ——径流系数。

2.2.2 输出系数值的选取 本研究区域面源污染源分为农村生活源、畜禽养殖源、土地利用和降雨沉降四类。其中,农村生活源主要为农村人口生活产生的 C, N, P 输出; 畜禽养殖源分为大牲畜、猪、羊、禽 3 类; 土地利用类型分为旱地, 水田, 林地, 城镇用地, 而其他土地类型面积和影响与以上 4 种相比, 要小的多, 因此不进行统计计算。本研究参照杨维等^[17]对面源污染的 COD 和氨氮输出系数的研究, 并借鉴太湖流域污染源调查数据及全污染源普查办发布的源强系数, 确定本研究的 COD 和氨氮输出系数, 详见表 1。

表 1 各类污染物输出系数

污染物类型	农业生活污水	畜禽养殖/(kg·a ⁻¹)				土地利用类型/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)				降雨/(10 ⁶ t·m ⁻³ ·a ⁻¹)
		大牲畜	猪	羊	禽类	旱地	园地	林地	城镇	
TN	2.14	10.21	0.74	0.4	0.04	11.21	10.21	3.05	6.76	1.65
TP	0.214	0.624	0.179	0.085	0.009	0.79	1.08	0.16	0.14	0.05
COD	25	30.0(以猪计)				18	24.5	32.5	100	
氨氮	1.2	1.5(以猪计)				8	4	7.5	11	

2.2.3 等标负荷计算 等标污染负荷是污染物的排放量与环境限量标准的比值,其计算公式为:

$$P_{ij} = \frac{M_{ij}}{C_{oi}} \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中: P_{ij} ——第 j 个污染源的第 i 种污染物流失量等标污染负荷(m³/a); M_{ij} ——第 j 个污染源第 i 种污染物流失量(t/a); C_{oi} ——该污染源中第 i 种污染物的环境评价标准(mg/L)。

等标污染负荷比计算公式: $K_{ij} = P_{ij} / P_j$

3 结果与分析

3.1 各污染源的污染负荷贡献率

利用输出系数模型计算了 2012,2014 年汉江流域荆门段各县不同污染类型(包括不同土地利用类型、畜禽养殖、农村生活和城镇地表径流)产生的农业面源污染 TN,TP,COD 以及 NH₃-N 的污染负荷量和不同污染源的污染负荷贡献率。计算结果详见表 2—5。

从各项污染物负荷和贡献率的计算结果来看,由农村生活产生的氮磷污染负荷在 2012 年和 2014 年分别占到了总输出量的 32.8%和 32.7%以及 30.0%和 28.8%。主要是因为农村生活污水主要来自厨房排水、卫生淋浴和洗衣用水,含有较高的有机物和氮磷,同时绝大部分生活污水未经处理便直接排入就近水体(表 2)。畜禽养殖的氮磷输出系数除了大牲畜的氮输出系数较高之外,其他都处于较低水平,但由于饲养量巨大,使其 TN,TP 输出量在 2012 和 2014 年两年间分别占到了总量的 25.3%和 40.0%以及 30.5%和 46.7%。其中羊因为受气候和地形等限制,饲养量相对较少,输出系数也相对较低。农用地中,水田输出系数很大,面积也很大,从而水田的 TN,TP 输出负荷都很大,分别为 21.41%和 15.52%(2012 年),19.9%和 13.9%(2014 年)(表 2)。城镇用地产生的污染负荷最小,这和城镇较为完善的污水处理系统和垃圾清运系统有关。雨水在 TN 方面的输出量占到了 6%左右,这与雨水中含有较多硝酸根有关,可见雨水的贡献率也是不能忽略的。而 COD 主要来源于畜禽养殖,在 2012 和 2014 两年均占到了

1/2 以上,其次是农村生活。其主要原因在于,畜禽养殖产生的粪便和尿液都含有很多有机物,农村生活也产生了大量的有机垃圾。此外,由于养殖数量和人口数量很大,即使各项污染源在 COD 输出系数上没有明显的差距,但在产生的污染物总量上却产生了明显的差别。畜禽养殖和农村生活远远大于其他各项污染源的输出量(表 3)。

在 NH₃-N 输出方面,畜禽养殖的 NH₃-N 输出量也占着很大的比例,在 2012 和 2014 两年均超过了 40%,农村生活产生的 NH₃-N 量占到 24.4%(2012 年)和 24.04%(2014 年),排名第 2。相应地,园地和城镇由于面积较小,在污染物的贡献量上始终处于一个较低水平(表 3)。从分析结果看,畜禽养殖和农村生活是主要的污染物来源,各县之间有较大差异。与 2012 年数据状况相比较,2014 年这两类来源的污染所占比例并无下降趋势,甚至在 TN 和 TP 的输出比例还有上升趋势。这主要与各县市的经济发展、人口数量、土地利用现状以及相关政策的制订有关。

3.2 各污染源的污染负荷贡献率的时空变化分析

比较 2012 和 2014 年不同地区污染物来源及其贡献率的变化发现,两年间,沙洋县土地利用无明显变化,但 2014 年畜禽数量增加幅度较大;东宝区养殖数量略有增加,而水田和园地减少量较大,因而 2 个地区对 TN 和 TP 的贡献率变化较大。沙洋县 2014 年较 2012 年增加 3%,而东宝区则降低约 2 个百分点。可见,畜禽养殖和农业生产模式的改变对 TN 和 TP 的影响非常显著。在 COD 的变化上,沙洋县 2014 年的贡献率较 2012 年增加近 5%,其他地区的变化不大。

在 NH₃-N 的变化上,沙洋县 2014 年的贡献率较 2012 年增加近 4%,而掇刀区则减少 2%,主要原因在于掇刀区生活垃圾的影响具有较大幅度的减少。从 NH₃-N 的来源看,畜禽养殖的贡献率从 2012 年的 40%上升到 2014 年的 50%,表明,畜禽粪便是 NH₃-N 的最重要来源。因此,提高生活垃圾和畜禽养殖废弃物的处理力度,可显著降低 NH₃-N 向环境中的排放。

表 2 汉江流域荆门段面源污染 TN,TP 负荷

区县	污染物	年份	土地利用							畜禽养殖				农村生活	降雨	总计	贡献率/%
			水田	旱地	菜地	园地	林地	城镇	大牲畜	猪	羊	家禽					
沙洋县	TN/(10 ⁵ kg·a ⁻¹)	2012	12.48	1.22	1.48	0.12	0.81	0.10	7.21	4.05	0.06	2.93	12.59	3.02	46.05	31.24	
		2014	12.53	1.22	1.57	0.13	0.81	0.10	11.26	5.13	0.14	4.63	12.29	3.12	52.94	34.52	
	TP/(10 ⁴ kg·a ⁻¹)	2012	9.07	0.86	1.24	0.13	0.43	0.02	4.40	9.79	0.12	6.59	12.59	0.91	46.14	31.24	
		2014	9.10	0.86	1.32	1.32	0.42	0.02	6.88	12.42	0.30	10.42	12.29	0.90	55.08	34.45	
钟祥市	TN/(10 ⁵ kg·a ⁻¹)	2012	11.72	4.23	1.73	0.90	3.65	0.14	6.61	6.00	0.40	2.85	22.89	4.36	65.44	44.39	
		2014	11.85	4.22	1.85	1.01	3.65	0.14	6.00	6.43	0.53	4.44	23.03	4.33	67.50	44.02	
	TP/(10 ⁴ kg·a ⁻¹)	2012	8.52	2.98	1.45	0.95	1.91	0.03	4.04	14.43	0.84	6.41	22.89	1.32	65.77	44.53	
		2014	8.61	2.98	1.55	1.55	1.93	0.03	3.67	15.54	1.13	9.98	23.03	1.33	70.87	44.34	
东宝区	TN/(10 ⁵ kg·a ⁻¹)	2012	4.29	0.33	0.97	0.84	2.81	0.10	1.61	2.16	0.61	0.79	8.15	1.50	24.16	16.39	
		2014	3.46	0.30	0.92	0.26	2.81	0.10	1.53	2.18	0.86	1.04	6.79	1.51	21.77	14.20	
	TP/(10 ⁴ kg·a ⁻¹)	2012	3.11	0.24	0.82	0.89	1.47	0.02	0.99	5.23	1.30	1.77	8.15	0.46	24.44	16.54	
		2014	2.52	0.21	0.77	0.77	1.46	0.02	0.94	5.28	1.82	2.34	6.79	0.47	22.90	14.33	
掇刀区	TN/(10 ⁵ kg·a ⁻¹)	2012	3.07	0.33	0.79	0.12	0.32	0.25	1.03	0.79	0.02	0.26	4.69	0.08	11.76	7.98	
		2014	2.65	0.52	0.74	0.15	0.32	0.26	1.26	0.73	0.04	0.54	3.84	0.09	11.14	7.26	
	TP/(10 ⁴ kg·a ⁻¹)	2012	2.23	0.24	0.66	0.13	0.17	0.05	0.63	1.91	0.04	0.59	4.69	0.03	11.37	7.69	
		2014	1.93	0.36	0.62	0.62	0.17	0.05	0.77	1.75	0.09	1.22	3.84	0.02	11.00	6.88	
总计	TN/(10 ⁵ kg·a ⁻¹)	2012	31.56	6.12	4.96	1.98	7.60	0.58	16.46	12.96	1.09	6.83	48.31	8.96	147.40	100.00	
		2014	30.50	6.26	5.07	1.55	7.60	0.60	20.06	14.47	1.57	10.66	45.96	9.04	153.35	100.00	
	TP/(10 ⁴ kg·a ⁻¹)	2012	22.93	4.31	4.17	2.09	3.98	0.12	10.06	31.36	2.31	15.36	48.31	2.72	147.72	100.00	
		2014	22.16	4.41	4.26	4.26	3.99	0.13	12.26	35.00	3.34	23.97	45.96	2.73	159.85	100.00	
贡献率/%	TN/(10 ⁵ kg·a ⁻¹)	2012	21.41	4.15	3.37	1.34	5.15	0.40	11.17	8.79	0.74	4.63	32.78	6.08	100.00		
		2014	19.89	4.08	3.31	1.01	4.95	0.39	13.08	9.44	1.02	6.95	29.97	5.90	100.00		
	TP/(10 ⁴ kg·a ⁻¹)	2012	15.52	2.92	2.82	1.42	2.70	0.08	6.81	21.23	1.56	10.40	32.71	1.84	100.00		
		2014	13.86	2.76	2.67	2.67	2.49	0.08	7.67	21.90	2.09	15.00	28.75	1.70	100.00		

表 3 汉江流域荆门段面源污染 COD, NH₃-N 负荷10⁵ kg/a

区县	污染物	水田		旱地		园地		林地		城镇		畜禽		农村生活		总计		贡献率/%	
		2012年	2014年	2012年	2014年	2012年	2014年	2012年	2014年	2012年	2014年	2012年	2014年	2012年	2014年	2012年	2014年	2012年	2014年
沙洋县	COD	9.54	9.58	1.95	1.96	0.29	0.31	8.67	0.86	1.46	1.50	315.24	446.58	147.08	143.62	484.22	604.42	31.27	35.61
	NH ₃ -N	5.73	5.75	0.87	0.87	0.05	0.05	2.00	2.00	0.16	0.17	15.76	33.49	7.06	8.70	31.62	51.03	28.44	32.37
钟祥市	COD	8.97	9.07	6.80	6.78	2.16	2.43	0.04	0.39	2.00	2.14	391.54	428.56	267.40	269.09	678.90	718.45	43.84	42.33
	NH ₃ -N	5.38	5.44	3.02	3.01	0.35	0.40	8.97	8.96	0.22	0.24	19.58	32.14	12.84	19.49	50.36	69.68	45.29	44.20
东宝区	COD	3.28	2.65	0.54	0.48	0.00	0.00	29.95	29.95	1.41	1.43	138.46	148.16	95.18	79.33	268.81	261.99	17.36	15.43
	NH ₃ -N	1.97	1.59	0.24	0.21	0.33	0.10	6.91	6.89	0.16	0.16	6.92	11.11	4.57	8.99	21.09	29.06	18.97	18.43
掇刀区	COD	2.35	2.03	0.54	0.83	0.29	0.37	3.45	3.45	3.77	3.87	51.62	57.11	54.78	44.86	116.79	112.52	7.54	6.63
	NH ₃ -N	1.41	1.22	0.24	0.37	0.05	0.06	0.80	0.80	0.41	0.43	2.58	4.28	2.63	0.72	8.11	7.87	7.30	4.99
总计/kg	COD	24.13	23.32	9.82	10.06	2.74	3.11	42.10	34.65	8.64	8.93	896.86	1080.41	564.43	536.90	1548.72	1697.39	100.00	100.00
	NH ₃ -N	14.48	13.99	4.37	4.47	0.77	0.61	18.68	18.65	0.95	0.98	44.84	81.03	27.09	37.90	111.19	157.63	100.00	100.00
贡献率/%	COD	1.56	1.37	0.63	0.59	0.18	0.18	2.72	2.04	0.56	0.53	57.91	63.65	36.44	31.63	100.00	100.00		
	NH ₃ -N	13.02	8.88	3.93	2.83	0.70	0.39	16.80	11.85	0.85	0.62	40.33	51.39	24.37	24.04	100.00	100.00		

3.3 污染负荷评价

根据荆门地区及其上游水污染防治规划,本文评价标准采用《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》Ⅱ类水质指标下限值,即 COD 为 15 mg/L, TN 为 0.5 mg/L, TP 为 0.1 mg/L, NH₃-N 为 0.5 mg/L, 运用等

标污染负荷法对 2012 和 2014 年汉江流域荆门段各县、各类污染源进行评价,计算结果详见表 4—5。根据等标污染负荷比值(表 4),研究区污染负荷各区县比重为:钟祥市>沙洋县>东宝区>掇刀区,2012—2014 两年间变化不大;研究区污染物负荷比重排序

为:TN>NH₃-N>TP>COD(2012年),TN>NH₃-N>COD>TP(2014年),2 a 间,氮在所有污染物中的影响强度均最大。而 COD 的等标污染负荷比的排位有所变化,主要是畜禽养殖数量增加带来的影响。从各区县污染负荷总量看,钟祥市等标污染负荷强度最大,这与自然条件,人口密度及产业结构发展是密切相关的。

由表 5 可知,研究区不同来源的污染负荷比重排序为:畜禽养殖>农村生活>用地类型>降雨>城镇

径流。这一结果与利用输出系数模型分析的结果具有一致性。从研究区污染物污染负荷比及各污染负荷总量看,畜禽养殖,农村生活,土地利用属于最主要污染负荷产生单位。主要原因是该区畜禽养殖数量巨大且养殖污水处理不到位,大量有机污染物进入水体;农业生产中大量氮肥、磷肥的使用,部分未利用的氮磷随径流进入水体;同时几乎全部农村生活废水不经处理便直接排入附近水体,这些因素的综合作用使水体中的污染负荷相当可观。

表 4 汉江流域荆门段各区县 2012 和 2014 年等标污染负荷

污染源	负荷系数	沙洋县		钟祥市		东宝区		掇刀区		P_{ij}/m^3	K_{ij}	P_{ij}/m^3	K_{ij}	
		2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	
TN	P_{1i}/m^3	9 209	10588	13 087	13 499	4 832	4 354	2 353	2 228	29 480	0.38	30 669	0.34	
	K_{1i}	0.31	0.35	0.44	0.44	0.17	0.14	0.08	0.07					
TP	P_{1i}/m^3	4 614	5 508	6 577	7 087	2 444	2 290	2 353	1 100	15 988	0.20	15 985	0.18	
	K_{1i}	0.31	0.34	0.45	0.44	0.16	0.14	0.08	0.07					
COD	P_{1i}/m^3	3 228	4 030	4 526	4 790	1 792	1 747	779	750	10 325	0.13	11 316	0.13	
	K_{1i}	0.31	0.36	0.44	0.42	0.17	0.15	0.08	0.07					
NH ₃ -N	P_{1i}/m^3	6 324	10 206	10 073	13 936	4 218	5 811	1 623	1 574	22 238	0.28	31 526	0.35	
	K_{1i}	0.28	0.32	0.45	0.44	0.19	0.18	0.07	0.05					
		P_{mj}/m^3	23 376	30 331	34 263	39 311	13 285	14 202	7 107	5 652	$P=78\ 031$		$P=89\ 496$	
		K_{mj}	0.30	0.34	0.44	0.44	0.17	0.16	0.09	0.06				

注: P_{ij} 为第 j 个污染源的第 i 种污染物等标污染负荷(m^3/a); K_{ij} 为第 j 个污染源的第 i 种污染物等标污染负荷比; P_{mi} 为第 i 种污染物总等标污染负荷(m^3/a); K_{mi} 为第 i 种污染物总等标污染负荷比; P_{mj} 为第 j 个污染源的总等标污染负荷(m^3/a); K_{mj} 为第 j 个污染源总等标污染负荷比。下同。

表 5 汉江流域荆门段各污染源等标污染负荷

污染源	负荷系数	用地类型		畜禽养殖		城镇		农村生活		降雨		P_{ij}	K_{ij}	P_{ij}	K_{ij}	
		2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	2012 年	2014 年	
TN	P_{1i}	10 441	10 197	7 467	9 351	117	121	9 663	9 192	1 793	1 809	29 480	0.39	30 669	0.34	
	K_{1i}	0.35	0.33	0.25	0.30	0.00	0.00	0.33	0.30	0.06	0.06					
TP	P_{1i}	3 748	3 647	5 908	7457	12	13	4831	4596	272	273	14 772	0.19	15 985	0.18	
	K_{1i}	0.25	0.23	0.40	0.47	0.00	0.00	0.33	0.29	0.02	0.02					
COD	P_{1i}	481	474	5 635	7 203	32	60	3 398	3 579	—	—	9 546	0.13	11 316	0.13	
	K_{1i}	0.05	0.04	0.59	0.64	0.00	0.01	0.36	0.32	—	—					
NH ₃ -N	P_{1i}	7 660	7 544	8 969	16206	190	197	5 418	7 580	—	—	22 237	0.29	31 526	0.35	
	K_{1i}	0.34	0.24	0.4	0.51	0.01	0.01	0.24	0.24	—	—					
		P_{mj}	22 331	21 862	27 978	40 217	351	389	23 311	24 946	2 064	2 081	$P=76\ 035$		$P=89\ 496$	
		K_{mj}	0.29	0.24	0.37	0.45	0.01	0.01	0.30	0.30	0.03	0.02				

4 讨论和结论

本文采用两种方法评估了调查区的污染物来源对该区水环境的影响,分析结果具有很好的一致性。调查区域内不同区县的污染负荷和污染源不尽相同,表明该区域内自然、经济条件的差异对污染物排放的

具有重要影响。从污染物来源看,农村生活和畜禽养殖在各区县均为最重要的来源,表明目前农村的生活垃圾和畜禽排放物的处理还存在较大的提升空间。对污染负荷比重的分析结果表明,氮源污染的影响在各项污染物中处于首位,其次是磷。氮磷污染物主要来源于生产和生活垃圾的排放,因此在污染物控制措

施中,应重点考虑对氮、磷污染源的控制。从流域内的污染物分布看,虽然各区县间污染程度及污染物负荷不同,但各区县间水体相互连接,尤其是上游地区的污染物排放,会加重下游地区的污染负荷,最终将造成整个区域的环境恶化。不同年份间的比较可见,畜禽养殖数量的变化、农业生产方式的调整和生活垃圾的处理显著影响调查区的环境质量,据此,提出 3 点建议:

(1) 加强该区域更小尺度的污染源源强分析识别。分别以行政区县的村镇为单位尺度、小流域汇水单元尺度统计分析区域污染负荷强度,识别区域的重点污染源和主要污染物。将 3S(GIS, GPS, RS) 计算机技术与常规的污染源污染监测方法相结合,提高数据采集及处理的能力,实现区域污染源强在地图上的可视化表达,为环境保护部门监测管理污染源提供有力依据。

(2) 加强主要污染源管理。从研究结果看,该区域主要的污染源来源于农村生活和农业生产、畜禽养殖。因此,该地区降低面源污染的重点工作应该放在两个方面。一是加强农田科学施肥技术水平,提高肥料利用率,减少过剩肥料进入水体。加强对畜禽养殖业的管理,探索无害化处理畜禽养殖业排放物的技术及设施;二是以村为单位,加强农村建设规划,改善农村生活方式,加大农村生活区污水、垃圾等处理设施,改造提升农村生活环境。从农村生产、生活两个方面切断污染源头。

(3) 进一步研究面源污染物的迁移赋存规律及作用机制。在已有研究的基础上,加强深化研究,探索该地区面源污染物的迁移赋存规律和污染机制,依照规律,科学制订治理污染的政策措施和科技方法,逐渐形成全域内科学监控和治理面源污染的完整体系。

[参 考 文 献]

[1] Boers P C M. Nutrient emissions from agriculture in the Netherlands causes and remedies [J]. Water Science Technology, 1996, 33(4): 183-190.

[2] Ennis L, Corwin. Non-point pollution modeling based on

GIS[J]. Soil & Water. Conservation, 1998,1(1):75-88.

[3] 王建兵,程磊. 农业面源污染现状分析[J]. 农林经济管理学报,2008,7(3):35-39.

[4] 杨林章,冯彦房,施卫明,等. 我国农业面源污染治理技术研究进展[J]. 中国生态农业学报,2013,21(1):96-101.

[5] 叶延琼,章家恩,李逸勉,等. 基于 GIS 的广东省农业面源污染的时空分异研究[J]. 农业环境科学学报,2013,32(2):369-377.

[6] 李怀恩,沈晋. 非点源污染数学模型[M]. 陕西西安:西北工业大学出版社,1996.

[7] 薛利红,杨林章. 面源污染物输出系数模型的研究进展[J]. 生态学杂志,2009,28(4):755-761.

[8] 高懋芳,邱建军,刘三超,等. 基于文献计量的农业面源污染研究发展态势分析[J]. 中国农业科学,2014,47(6):1140-1150.

[9] 肖新成,何丙辉,倪九派,等. 三峡生态屏障区农业面源污染的排放效率及其影响因素[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(11):60-68.

[10] 欧阳威,蔡冠清,黄浩波,等. 小流域农业面源氮污染时空特征及与土壤呼吸硝化关系分析[J]. 环境科学,2014,35(6):2411-2418.

[11] US Environmental Protection Agency. Non-Point Source Pollution from Agriculture[EB/OL]. (2001-02-23) [2002-05-05]. <http://www.epa.gov/region8/water/nps/npsurb.html>, 2003.

[12] 刘亚琼,杨玉林,李法虎. 基于输出系数模型的北京地区农业面源污染负荷估算[J]. 农业工程学报,2011,27(7):7-12.

[13] 徐飞. 全面整治竹皮河 改善荆门水环境[C]//湖北荆门:河湖生态水环境专题论坛论文集,2011.

[14] 张德学. 南水北调中线工程对汉江荆门段水环境影响及对策研究[C]//实行最严格水资源管理制度高层论坛优秀论文集,2010.

[15] 黄勇,程树平. 荆门市竹皮河综合整治规划[J]. 规划师,2003,19(8):50-53.

[16] 望志方,张煦. 汉江水质与污染物的时空差异分析[J]. 华中农业大学学报,2010,29(6):721-726.

[17] 杨维,杨肖肖,吴燕萍,等. 基于输出系数法核定双台子河非点源污染负荷[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版,2012,28(2):338-343.