

文章编号: 1008-2786-(2016)2-150-07

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000112

川中丘陵区自然沟渠水体氮磷污染状况评价

汪涛^{1,2}, 龙虹竹³, 赵原^{1,2}, Matthieu^{1,2}, 高美荣^{1,2*}

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院山地表生过程与生态调控重点实验室, 四川 成都 610041; 3. 重庆师范大学, 重庆 400700)

摘 要: 通过对川中丘陵区 72 条自然沟渠水体氮磷含量特征进行野外调查,并结合综合污染指数法对该区自然沟渠水体氮磷污染状况进行分析评价。结果表明,该区自然沟渠水体 TN 含量范围在 2.09~46.90 mg/L,平均值为 5.39 mg/L; TP 含量范围在 0.04~0.72 mg/L,平均值为 0.18 mg/L。居民区沟渠水体氮磷含量明显高于水田沟渠和旱地沟渠。不同类型自然沟渠水体氮磷含量季节变化趋势不同,居民区沟渠旱季(11 月)水体氮磷含量均高于雨季(6 月),但水田和旱地沟渠旱季水体氮磷含量均低于雨季。综合污染指数分析结果显示,川中丘陵区不同地区自然沟渠水体氮磷综合污染基本处于重度污染的状况。

关键词: 自然沟渠; 污染评价; 水体; 氮素; 磷素

中图分类号: X522

文献标志码: A

沟渠是一种常见的连接各个农业区或居民区的地貌类型^[1-2]。作为污染物传输的重要通道,沟渠不仅具有输移功能,而且良好的沟渠系统具有消减污染负荷、净化水质的功能^[3]。近几年来,沟渠在面源污染治理中的重要作用不仅受到国外科学家的高度重视^[4-5],同时也受到了国内科学家的高度关注^[6-10]。但是,由于长期缺乏有效管理以及不合理的改造,我国大部分地区的沟渠生态功能退化、水体自净能力低等问题突出。目前,国内对于水体氮磷污染的评价大都关注于江河湖海^[11],对不同区域自然沟渠水体氮磷污染状况的评价研究也有一些报道,如郗敏等对三江平原沟渠系统的水体和沉积物的养分特征进行了研究^[12],程萌等对太湖流域水稻田周边沟渠水质污染特征进行了研究^[13],薛莲等对湖北四湖流域农田排水沟渠水质进行了评价^[14]。但是,针对长江上游山区沟渠水体氮磷污染特征的

研究尚未见报道。

川中丘陵区位于长江上游腹地,地势起伏。由于降雨径流长期冲刷,形成了很多天然的排水沟渠,同时为了更好的进行农业生产与泄洪,人们也建造了大量的农田排水沟渠。这些沟渠是连接农业排水、村镇居民生活废水与河流湖泊的重要通道,兼顾防洪和服务农业生产双重功能,同时具有一定的湿地功能。罗专溪等研究表明,川中丘陵区生态功能良好的沟渠对氮、磷化合物具有很强的去除能力^[7]。已有研究发现,该区部分小流域溪流中出现了明显的水体富营养化现象^[15],目前尚不清楚自然沟渠水体氮磷污染的整体状况,而弄清自然沟渠水体氮磷污染整体状况,对该区退化沟渠生态功能恢复具有重要意义。本文拟通过对川中丘陵区不同类型自然沟渠的调查与采样分析,弄清自然沟渠水体氮磷污染状况,并进行综合评价,以期对退化沟渠生

收稿日期(Received date): 2015-03-15; 修回日期(Accepted): 2015-08-05。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41371462)、中国科学院西部行动计划(KZCX2-XB3-09)、中国科学院西部之光重点项目。[Supported by the National Natural Sciences Foundation of China (No.41371462) and the CAS action-plan for West Development (No. KZCX2-XB3-09) and West Light Foundation of The Chinese Academy of Sciences.]

作者简介(Biography): 汪涛(1978-)男,副研究员,主要研究方向为水体非点源污染控制。[Wang Tao, (1978-), male, assistant professor, mainly engaged in non-point source pollution control.] E-mail: wangt@imde.ac.cn

* 通信作者(Correspond author): E-mail: gmr@imde.ac.cn

态功能恢复提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

川中丘陵区位于长江上游腹地,地处四川盆地中部,长江以北,剑阁、苍溪、仪陇等县以南,龙泉山以东,华蓥山以西,包括9个市地49个县市;土地面积 $1.200 \times 10^4 \text{ km}^2$,耕地面积占29.5%,林地面积占21.3%,水域面积占7.5%,大部分地区海拔350~700 m。本区多年平均气温 17.5°C ,无霜期320 d;多年平均降水量1000 mm,但分配不均,主要集中在6—9月,占年水量的65%~75%。

1.2 样品采集

分别在2014年6月(雨季)和11月(旱季)对区内72条自然沟渠进行调查采样,采样点分布在盐亭、西充、南充、渠县、射洪、蓬溪、遂宁、中江、三台等县市的农村地区(图1)。按随机调查的方法布设采样点,沿省道线,每隔10 km左右调查不同类型的沟渠,所选沟渠尽量偏离主道,远离城市或工业区或畜禽集中养殖区,每个采样点均利用GPS定位。沟渠类型按周边土地利用类型分类,分为旱地沟渠、水田沟渠、居民区沟渠三类。居民区沟渠主要选择在农

村村落或小型集镇附近,采样点一般布置在居民区下游(离居民区至少1 km),避免在污水集中排放点采样。11月调查的40条沟渠根据6月调查的分析数据有选择性地确定,调查点与6月的调查点一致。

根据沟渠地形确定采样段面,一般选择比较均匀的沟渠段面,段面长在50~100 m。利用水样采集器在所选段面内采集混合水样(至少5点混合),并用经过稀硫酸处理并以蒸馏水洗净的聚乙烯塑料瓶收集500 mL混合水样。采集的水样首先放入冷藏箱保存,然后送回实验室进行分析,24 h内分析完毕,如来不及分析,加硫酸酸化到 $\text{pH} < 2$,一周内必须分析完毕。

1.3 样品分析

水样采集时,利用照相机估算植被覆盖度,同时记录周边土地利用类型。水样带回实验室后,首先测定总氮(TN)、总磷(TP)含量,然后经 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜过滤,测定氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸盐氮($\text{NO}_3\text{-N}$)、可溶性总氮(DN)、可溶性总磷(DP)含量,具体测定方法参照《中国生态系统研究网络观测与分析标准方法—水环境要素观测与分析》^[16]。颗粒态氮(PN)、颗粒态磷(PP)含量由总氮、总磷含量与可溶性总氮、总磷含量相减而得。

1.4 污染评价方法

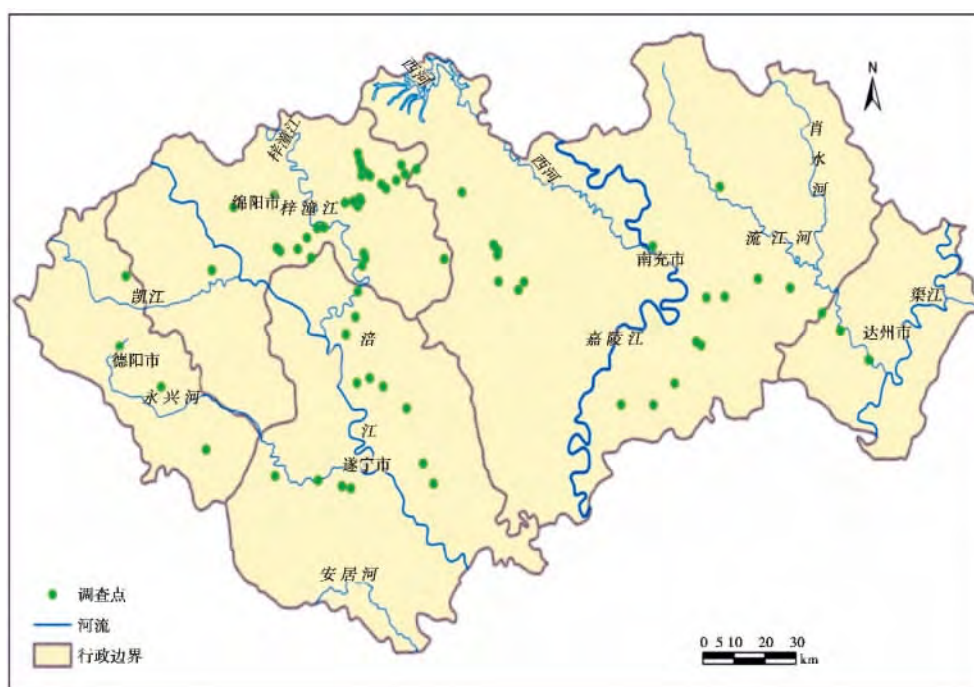


图1 川中丘陵区沟渠采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling points in the Hilly Area of Sichuan Central Basin

采用综合污染指数法进行评价^[11]。由单项污染指数计算公式如下

$$S_i = C_i / C_s$$
$$FF = \sqrt{\frac{F^2 + F_{\max}^2}{2}}$$

式中 S_i 为单项评价指数或标准指数, $S_i > 1$ 表示含量超过评价标准值; C_i 为评价因子 i 的实测值; C_s 为评价因子 i 的评价标准值 $CS_{TN} = 1.0$, $CS_{TP} = 0.2$ (国家地表水水质标准 3 类水 TN、TP 含量标准)。 FF 为综合评价指数, F 为 n 项污染物污染指数平均值, F_{\max} 为最大单项污染指数。

1.5 数据处理

利用 SPSS 18.0 进行数据的统计与分析, 选用 LSD 法进行差异显著性检验。利用 Origin 8.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 自然沟渠水体氮磷含量分布特征

川中丘陵区 72 条自然沟渠水体氮磷含量采样分析结果见表 1。各个沟渠水体 TN 含量差异显著, 范围在 2.09 ~ 46.90 mg/L, 平均值为 5.39 mg/L。沟渠水体 PN 的含量范围在 0.01 ~ 11.88 mg/L, 平均值为 1.31 mg/L, 97.96% 的沟渠水体中 PN 含量占 TN 含量的比例 < 50%, 这说明 PN 不是沟渠水体氮素的主要形态。沟渠水体 $NO_3 - N$ 含量范围在 0.05 ~ 5.04 mg/L, 平均值为 0.97 mg/L, $NH_4 - N$ 含量范围在 0.20 ~ 25.09 mg/L, 平均值为 1.42 mg/L。值得注意的是, 所有水体 TN 含量均高于国家地表水 5 类水 2.0 mg/L 的标准, 9.72% 的水体高于 10

mg/L, 最高甚至达到 46.90 mg/L。

各个沟渠水体 TP 含量的范围在 0.04 ~ 0.72 mg/L, 平均值为 0.18 mg/L (表 1)。沟渠水体 PP 的含量在 0.01 ~ 0.62 mg/L, 77.14% 的水体 PP 占 TP 的比例 < 50%, 这说明 PP 也不是沟渠水体磷素的主要形态。尽管沟渠水体 TP 平均含量低于国家地表水 3 类水 0.2 mg/L 的标准, 但 68.06% 的水体 TP 含量超过了水体富营养化 0.02 mg/L 的标准, 31.94% 的沟渠水体含量 > 0.2 mg/L, 有些甚至超过了 5 类水 0.4 mg/L 的标准。

2.2 不同周边土地利用类型沟渠水体氮磷含量

图 2 为植被覆盖度相似 (均为 50% 左右) 的周边土地利用类型不同的沟渠水体氮磷含量特征。对于氮素, 居民区沟渠 TN 含量最高, 达到 24.10 mg/L, 旱地沟渠和水田沟渠 TN 含量明显低于居民区沟渠, 分别为 4.10 mg/L、3.15 mg/L。三种类型 (居民

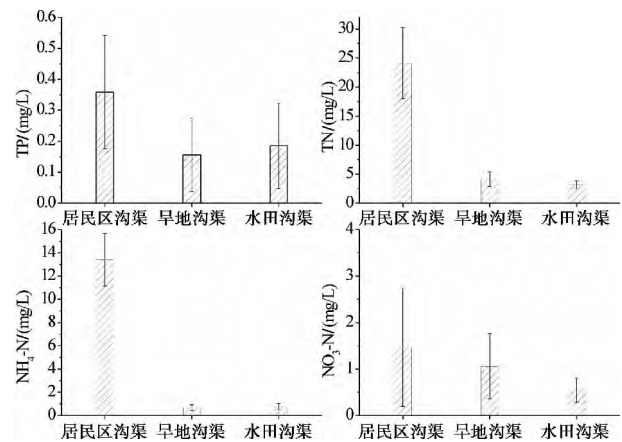


图 2 不同土地利用类型沟渠水体氮磷含量特征

Fig. 2 Water nitrogen and phosphorus contents under different surrounding land uses

表 1 川中丘陵区自然沟渠水体氮磷含量

Tab. 1 Nitrogen and phosphorus contents in ditch water

养分指标	样本	最大值	最小值	平均值	区间* 1	比例/%	区间 2	比例/%	区间 3	比例/%
TN(mg/L)	112	46.90	2.09	5.39	<2.0	0.00	2.0 ~ 10.0	90.28	> 10.0	9.72
PN(mg/L)	112	11.88	0.01	1.31	<2.0	83.67	2.0 ~ 10.0	12.24	> 10.0	4.08
TP(mg/L)	112	0.72	0.04	0.18	<0.02	0.00	0.02 ~ 0.2	68.06	>0.2	31.94
PP(mg/L)	112	0.62	0.01	0.07	<0.02	37.14	0.02 ~ 0.2	54.29	>0.2	8.57
NO ₃ - N(mg/L)	112	5.04	0.05	0.97	<2.0	90.28	2.0 ~ 10.0	9.72	> 10.0	0.00
NH ₄ - N(mg/L)	112	25.09	0.20	1.42	<1.0	77.78	1.0 ~ 2.0	13.89	>2.0	8.33
PP/TP	112	85.06	1.22	27.08	<50	77.14	>50.0	22.86		
PN/TN	112	54.50	0.17	15.68	<50	97.96	>50.0	2.04		

* 区间阈值根据国家地表水水质标准确定。

区、旱地、水田) 沟渠水体 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 含量分别为 13.41 mg/L、0.67 mg/L、0.75 mg/L, $\text{NO}_3 - \text{N}$ 含量分别为 1.47 mg/L、1.06 mg/L、0.54 mg/L。对于磷素, 居民区沟渠 TP 含量最高, 达到 0.36 mg/L, 其次为水田沟渠, TP 含量为 0.19 mg/L, 旱地沟渠 TP 含量最低, 为 0.17 mg/L。方差分析结果显示, 居民区沟渠 TN、TP 含量与水田沟渠、旱地沟渠差异显著 ($P < 0.05$), 但水田沟渠和旱地沟渠之间 TN、TP 含量差异不明显。居民区沟渠主要接受来自于居民区的未经任何处理的高氮磷含量的生活废水^[17], 而旱地沟渠和水田沟渠则主要接受来自农田降雨径流及其灌溉水, 其氮、磷含量远低于生活污水^[18], 这可能是居民区沟渠氮磷含量显著高于旱地沟渠和水田沟渠的主要原因。

2.3 不同植被覆盖度旱地沟渠水体氮磷含量

以旱地沟渠为例, 比较不同植被覆盖度沟渠水体氮磷含量特征, 结果见表 2。由表可见, 随着植被覆盖度的增高, 沟渠水体各种形态氮素均呈逐渐降低的趋势, 但不同植被覆盖度之间的差异并不明显。植被覆盖度不同的旱地沟渠水体 TP 含量与 TN 含量呈现相似的趋势, 与无植被沟渠(覆盖度为 0%) 水体相比, 50% 覆盖度和 100% 覆盖度沟渠水体 TP 平均含量均比无植被沟渠水体低 41.2%。尽管植被覆盖度高的沟渠水体 TP 含量低于无植被沟渠, 但这种差异也不明显。

2.4 自然沟渠水体氮磷含量的季节变化

分别在 6 月和 11 月对 8 条居民区沟渠、9 条水田沟渠、23 条旱地沟渠水体氮磷含量进行采样分析, 研究不同类型沟渠水体氮磷含量的季节变化, 结果见表 3。沟渠水体 TN 浓度的季节平均值在 2.76 ~ 8.56 mg/L, 11 月居民区沟渠 TN 含量最高, 达到 8.56 mg/L, 水田沟渠 TN 含量最低, 仅为 2.76 mg/L。与 6 月相比, 居民区沟渠 TN 含量升高了 38.7%, 而水田沟渠和旱地沟渠分别降低了 15.3%、13.6%。沟渠水体 TP 的季节平均值在

0.06 ~ 0.25 mg/L, 11 月居民区沟渠 TP 含量最高, 达到 0.25 mg/L, 水田 TP 含量最低。与 6 月相比, 居民区沟渠 TP 含量升高了 56.3%, 水田沟渠和旱地沟渠分别降低了 45.5%、22.2%。

居民区沟渠系统不仅接受来自于居民区的生活废水, 还接受街面降雨径流。在雨季, 街面降雨径流对污水具有一定的稀释作用, 而枯水季节没有降雨径流汇入沟渠, 这是导致 11 月枯水季节居民区沟渠 TN、TP 含量高于 6 月的主要原因。另外, 居民区 6 月用水量大也可能对居民区沟渠水体氮磷污染产生了稀释作用。与居民区沟渠不同, 水田沟渠和旱地沟渠均在 6 月出现较高的 TN、TP 含量, 这可能与周边旱地和水田的垦殖与施肥有关, 5—6 月为川中丘陵区夏季作物播种施肥时期, 造成农田径流中氮磷含量较高; 也可能与沟渠旱季累积的氮磷释放有关, 旱季累积在沟渠植物和沉积物中的氮磷在 6 月高温、高湿的条件下释放进入水体可能形成二次污染^[6]。11 月枯水季节水田沟渠和旱地沟渠水体 TN、TP 含量出现明显下降, 这可能是由于周边农田养分的消耗导致农田排水氮磷浓度降低, 也可能与沟渠本身的净化作用有关。

2.5 沟渠水体氮磷污染状况综合评价

川中丘陵区不同地区自然沟渠水体氮磷污染状况分级结果见表 4。从 TN 的污染指数上看, 自然沟渠基本处于氮素重度污染的状况。但是, 不同区域 TP 的污染状况差异较大。由表 4 可见, 西充、南充和遂宁等地自然沟渠水体 TP 污染指数处于清洁水平, 中江和三台等地自然沟渠水体 TP 污染指数处于轻度污染水平, 渠县和蓬溪等地自然沟渠水体 TP 污染指数处于中度污染水平, 盐亭、射洪等地自然沟渠水体 TP 污染指数处于重度污染水平。对川中丘陵区不同地区自然沟渠氮磷污染状况进行综合评价, 发现该区自然沟渠水体氮、磷综合污染指数均处于重度污染的水平。

表 2 不同植被覆盖度旱地沟渠水体氮磷含量

Tab. 2 Water nitrogen and phosphorus contents of slope cropland ditch under different plant covers / (mg/L)

覆盖度	样本数	TP	TN	$\text{NH}_4 - \text{N}$	$\text{NO}_3 - \text{N}$
0	10	0.17 ± 0.10a*	4.15 ± 1.58a	0.71 ± 0.21a	1.26 ± 0.42a
20%	5	0.20 ± 0.17a	4.23 ± 1.20a	0.85 ± 0.22a	0.85 ± 0.48a
50%	8	0.10 ± 0.06a	3.65 ± 1.40a	0.59 ± 0.09a	0.87 ± 0.52a
100%	4	0.10 ± 0.03a	3.41 ± 0.63a	0.68 ± 0.07a	0.76 ± 0.45a

* 多重比较结果如表所示, 字母不同表示差异明显, 字母相同表示差异不明显 ($P < 0.05$)。

表 3 不同季节自然沟渠水体氮磷含量

Tab.3 Water nitrogen and phosphorus contents under different season

月份	TN/(mg/L)			TP/(mg/L)		
	居民区沟渠	水田沟渠	旱地沟渠	居民区沟渠	水田沟渠	旱地沟渠
6 月	6.17 ± 6.10	3.26 ± 1.03	3.69 ± 1.19	0.16 ± 0.14	0.11 ± 0.14	0.09 ± 0.18
11 月	8.56 ± 3.66	2.76 ± 0.80	3.19 ± 1.44	0.25 ± 0.34	0.06 ± 0.06	0.07 ± 0.12

表 4 川中丘陵区沟渠水体氮磷污染状况综合评价

Tab.4 Composite pollution assessment of water nitrogen and phosphorus in ditch

地点	STN	等级	STP	等级	FF	等级
盐亭	3.28	4	1.86	4	13.99	4
西充	6.46	4	0.33	1	4.86	4
南充	2.90	4	0.45	1	3.82	4
渠县	3.38	4	1.40	3	2.18	4
射洪	5.24	4	1.95	4	7.12	4
蓬溪	4.15	4	1.23	3	3.50	4
遂宁	3.59	4	0.45	1	10.15	4
中江	8.08	4	0.90	2	6.83	4
三台	2.74	4	0.89	2	8.31	4

注: 等级 1 表示清洁 2 表示轻度污染 3 表示中度污染 4 表示重度污染。

3 讨 论

3.1 影响沟渠水体氮磷含量差异的因素

影响川中丘陵区自然沟渠水体氮磷含量的因素很多。首先,分散于不同土地利用中的沟渠系统,接受来自周边的径流和土壤颗粒^[12]。因此,周边土地利用类型可能是影响沟渠水体氮磷含量的最重要、最直接的因素。在本文中,居民区沟渠由于接受来自周边居民区的高氮磷含量的生活废水和街面降雨径流污染^[17],导致居民区沟渠水体氮磷含量显著高于农田沟渠。其次,沟渠系统能通过植物吸收有效去除水流中的 N、P,从而减少进入河流和湖泊的污染物^[5,8-9,12]。因此,植被状况也是影响沟渠水体氮磷含量的重要因素。本文研究虽然也发现植被覆盖度高的沟渠水体氮磷含量要低于覆盖度低或无植被的沟渠,但不同植被覆盖度沟渠之间水体氮磷含量的差异并不显著。另外,水文条件由于能直接影响氮磷物质在沟渠的滞留时间,也可能是影响川中丘陵区沟渠水体氮磷含量的重要因素。而地形、温度等因为能影响沟渠的反硝化作用^[19],也可能是影响该区沟渠水体氮磷含量的因素。值得注意的是,

川中丘陵区沟渠生物化学过程十分复杂,水体氮磷含量受多因素综合影响,本文仅仅初步探讨了周边土地利用类型和植被覆盖对沟渠水体氮磷含量的影响,对水文条件、沟渠植物、地形、温度等因素以及这些因素对沟渠水体氮磷含量的综合影响,尚需要进一步研究。

3.2 沟渠系统的环境风险

川中丘陵区以沟渠纵横为显著地理特征,沟渠是连接农业排水、村镇居民生活废水与河流湖泊的重要通道。以农田沟渠为例,与国内其他地区的研究结果相比,川中丘陵区水田沟渠水体 TN 含量与太湖流域稻田沟渠水体 TN 含量(3.15 mg/L)没有差异,但明显高于湖北四湖流域(TN1.01 mg/L)和三江平原(TN1.1~2.1 mg/L);农田沟渠水体 TP 含量与三江平原(TP0.11~0.24 mg/L)差异不大,但低于太湖地区 TP 含量(0.29 mg/L),高于湖北四湖流域(TP0.017 mg/L)^[13-15]。与川中丘陵区地表水氮磷含量相比,自然沟渠水体 TN 平均含量远高于该区地表水 TN 平均含量(2.58 mg/L)^[15],但自然沟渠水体 TP 平均含量低于该区地表水中 TP 平均含量(0.25 mg/L)^[20]。由此可见,川中丘陵区沟渠水体污染状况极具风险。川中丘陵区地处长江上游腹地,面积约 16 × 10⁴ km²,嘉陵江、涪江、沱江等长江主要支流穿越其中汇入三峡库区。作为污染物传输的重要通道,沟渠水质的好坏,不仅可能影响当地居民生产生活用水,而且将严重影响三峡水库水质安全。

值得特别提出的是,川中丘陵区居民区沟渠水体具有极高的氮磷含量,TN 平均含量为 24.10 mg/L,TP 平均含量为 0.36 mg/L。该区集镇分布广泛,总数超过 700 个,集镇密度为 1.91 个/(100 km²)。但是,这些集镇普遍基础设施差,污水无序排放^[17],导致居民区沟渠水体污染严重,高氮磷浓度沟渠受污水体汇入河流,可能会对河流水质安全造成极大的危害。

4 结论

1. 川中丘陵区自然沟渠水体 TN 含量差异显著, 范围在 2.09 ~ 46.90 mg/L, 平均值为 5.39 mg/L; 自然沟渠水体 TP 含量的范围在 0.04 ~ 0.72 mg/L, 平均值为 0.18 mg/L。

2. 周边土地利用类型不同的沟渠水体氮磷含量差异显著, 居民区沟渠水体氮磷含量明显高于水田沟渠和旱地沟渠。不同类型自然沟渠水体氮磷含量季节变化趋势不同, 居民区沟渠 11 月水体氮磷含量均高于 6 月, 但水田和旱地沟渠 11 月水体氮磷含量均低于 6 月。

3. 从单因子污染指数看, 川中丘陵区自然沟渠水体氮污染基本处于重度污染的状况, 但不同地区磷污染状况差异较大。综合污染指数分析结果显示, 该区自然沟渠水体氮磷综合污染指数基本处于重度污染的状况。

参考文献(References)

- [1] Moore M T, E R Bennett, C M Cooper et al. Transport and fate of atrazine and lambda-cyhalothrin in an agricultural drainage ditch in the Mississippi Delta, USA [J]. *Agricultural, ecosystem and Environment*, 2001, 87(3): 309–314
- [2] Kröger R, Holland M M. Hydrological variability and agricultural drainage ditch inorganic nitrogen reduction capacity [J]. *Journal of Environment Quality*, 2007, 36(6): 1646–1652
- [3] Mulholland P J, Helton A M, Poole G C et al. Stream denitrification across biomes and its response to anthropogenic nitrate loading [J]. *Nature*, 2008, 452(7184): 202–246
- [4] Canfield D E, Glazer A N, Falkowski P G. The evolution and future of earth's nitrogen cycle [J]. *Science*, 2010, 330(6001): 192–196
- [5] Pierobon E, Castaldelli G, Mantovani S et al. Nitrogen removal in vegetated and unvegetated drainage ditches impacted by diffuse and point sources of pollution [J]. *Clean – Soil Air Water*, 2013, 41(1): 24–31
- [6] 姜翠玲, 范晓秋, 章亦兵. 非点源污染物在沟渠湿地中的累积和植物吸收净化 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(7): 1351–1354 [Jiang Cuiling, Fan Xiaoqiu, Zhang Yibing. Accumulation of non-point source pollutants in ditch wetland and their uptake and purification by plants [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(7): 1351–1354]
- [7] 罗专溪, 朱波, 唐家良, 等. 自然沟渠控制村镇降雨径流中氮磷污染的主要作用机制 [J]. *环境科学学报*, 2009, 29(3): 561–568 [Luo Zhuanxi, Zhu Bo, Tang Jialiang, et al. Primary mechanisms of nitrogen and phosphorus removal from stormwater runoff by a natural ditch in a rural township [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(3): 561–568]
- [8] 崔丽娟, 李伟, 张曼胤, 等. 不同湿地植物对污水中氮磷去除的贡献 [J]. *湖泊科学*, 2011, 23(2): 203–208 [Cui Lijuan, Li Wei, Zhang Manyin, et al. Different wetland plant roles of removing nitrogen and phosphorus on sewage water [J]. *Journal of Lake Science*, 2011, 23(2): 203–208]
- [9] 张树楠, 肖润林, 余红兵, 等. 水生植物刈割对生态沟渠中氮、磷拦截的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(8): 1066–1071 [Zhang Shunan, Xiao Runlin, Yu Hongbing, et al. Effects of cutting aquatic plants on nitrogen and phosphorus interception in ecological ditches [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(8): 1066–1071]
- [10] 杨林章, 施卫明, 薛利红, 等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践—总体思路与“4R”治理技术 [J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(1): 1–8 [Yang Linzhang, Shi Weiming, Xue Lihong, et al. Reduce-retain-reuse-restore technology for the controlling the agricultural non-point source pollution in countryside in China: general countermeasures and technologies [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(1): 1–8]
- [11] 王佩, 卢少勇, 王殿武, 等. 太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价 [J]. *中国环境科学*, 2012, 32(4): 703–709 [Wang Pei, Lu Shaoyong, Wang Dianwu, et al. Nitrogen, phosphorous and organic matter spatial distribution characteristics and their pollution status evaluation of sediments nutrients in lakeside zones of Taihu Lake [J]. *China Environmental Science*, 2012, 32(4): 703–709]
- [12] 郝敏, 孔范龙, 吕宪国, 等. 三江平原沟渠系统水体和底泥的养分特征及效应 [J]. *地理科学*, 2014, 34(3): 358–364 [Xi Min, Kong Fanlong, Lu Xianguo, et al. Nutrient Variation in Water and Sediments of Ditch Wetlands and Their Effects on Environment in Sanjiang Plain, China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(3): 358–364]
- [13] 程萌, 卢少勇, 远野, 等. 太湖东部流域水稻田周边沟渠水质污染特征 [J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(12F): 15–18 [Cheng Meng, Lu Shaoyong, Yuan Ye, et al. Pollution characteristics of paddy field ditch water in the East Basin of Taihu Lake [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(12F): 15–18]
- [14] 薛莲, 金卫斌, 艾天成, 等. 湖北四湖流域农田排水沟渠水质评价 [J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(Z1): 79–84 [Xue Lian, Jin Weibin, Ai Tiancheng, et al. Water quality evaluation of agriculture drainage ditches in Four Lakes region of Hubei province [J]. *Resource and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(Z1): 79–84]
- [15] 朱波, 汪涛, 徐泰平, 等. 紫色丘陵区典型小流域氮素迁移及其环境效应 [J]. *山地学报*, 2006, 24(5): 601–606 [Zhu Bo, Wang Tao, Xu Taiping et al. Non-point-source nitrogen movement and its environmental effects in a small watershed in hilly area of purple soil [J]. *Mountain Research*, 2006, 24(5): 601–606]
- [16] 谢贤群, 王立军. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法—水环境要素观测与分析 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1998: 104–279 [Xie Xianqun, Wang Lijun. Water environment observation and analysis. Standard methods for observation and analysis in Chinese Ecosystem Research Network [M]. Beijing: Standards

- Press of China ,1998: 104 – 279]
- [17] 罗专溪,朱波,汪涛,等.紫色土丘陵区农村集镇降雨径流污染特征[J].环境科学学报,2008,28(9):1823 – 1831 [Luo Zhuaxi, Zhu Bo, Wang Tao, et al. Characterization of rainfall-runoff pollution in a small rural township in a hilly area with purple soil [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(9): 1823 – 1831]
- [18] 朱波,汪涛,王建超,等.三峡库区典型小流域非点源氮磷污染的来源与负荷[J].中国水土保持,2010,10:34 – 36 [Zhu Bo, Wang Tao, Wang Jianchao, et al. Source and load of non point source nitrous and phosphorus pollution of typical small watersheds in the Three Gorges Reservoir Area [J]. Soil and Water Conservation in China, 2010, 10: 34 – 36]
- [19] Matthew R. O., Mark B. D., Bruce L. R. Influence of geomorphological variability in channel characteristics on sediment denitrification in agricultural streams [J]. J. Environment Quality, 2006, 35(6): 2103 – 2112
- [20] 高美荣,朱波,陈克亮,等.紫色土丘陵区典型小流域水体 N、P 含量及其环境特征 [J]. 地球科学进展, 2004, 19(增): 487 – 489 [Gao Meirong, Zhu Bo, Chen Keliang, et al. Study on environment features of N and P of water in watershed in Hilly Area of purple soil [J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(Suppl.): 487 – 489]

An Evaluation of Nitrogen and Phosphorus Pollution in a Natural Ditch in the Hilly Area of Central Sichuan Basin

WANG Tao^{1 2}, LONG Hongzhu³, ZHAO Yuan^{1 2}, Matthieu^{1 2}, GAO Meirong^{1 2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Key Laboratory of Mountain Environment Evolution and Regulation, Chengdu 610041, China;

3. Chong Qing Normal University, Chongqing 400700, China)

Abstract: Surveys of Nitrogen and Phosphorus content were combined with a composite index evaluation of a natural ditch in the hilly area of Central Sichuan Basin, China. The total nitrogen levels in the ditch water ranged from 2.09 mg/L to 46.90 mg/L with an average of 5.39 mg/L, and the total phosphorus content ranged from 0.04 mg/L to 0.72 mg/L with an average of 0.18 mg/L. Levels of nitrogen and phosphorus in the ditch water varied according to the surrounding land uses. In residential areas, nitrogen and phosphorus levels were higher than those in agricultural areas of sloping cropland and paddy fields. Seasonal changes in nitrogen and phosphorus content also depended on the surrounding land use. In residential areas, nitrogen and phosphorus levels were higher in the dry season (November) than in the wet season (June). Conversely, in agricultural areas of paddy fields and sloping croplands, nitrogen and phosphorus levels were lower in November than in June. The result of this pollution assessment shows that nitrogen and phosphorus levels in the ditch water of the hilly area of Central Sichuan Basin constitute high pollution.

Key words: natural ditch; pollution evaluation; water; Nitrogen; Phosphorus