

Period Flux Recognition Method and Application of River Water Pollution Load Contribution Types

Qing Liu, Jian Zhao*, Guo Fu

Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing
Email: zghkylq@163.com, *zj103823@163.com

Received: Dec. 7th, 2017; accepted: Dec. 21st, 2017; published: Dec. 29th, 2017

Abstract

Clarifying the contribution type of river water pollution load, has important role for the pollution sources monitoring and management, and directly determines the direction of the pollution control investment and strength. This paper puts forward a set of method by using the period flux to identify the contribution type of water pollution load; sets up a simple calculation method of period flux; improves the conventional point source and non-point segmentation; puts forward the judgment standard of the water pollution load contribution types. The example shows that the method is feasible, and can provide scientific basis and technical support for the river basin water pollution control planning.

Keywords

River, Point Source, Non-Point Source, Period Flux, Pollution

河流水污染负荷贡献类型的控制断面通量识别法

柳青, 赵健*, 富国

中国环境科学研究院, 北京
Email: zghkylq@163.com, *zj103823@163.com

收稿日期: 2017年12月7日; 录用日期: 2017年12月21日; 发布日期: 2017年12月29日

*通讯作者。

摘要

明确河流主要水污染负荷的贡献类型, 将对污染源监控和管理有重要作用, 并直接决定污染治理投资的方向及强度。本文提出了一套采用控制断面实测通量识别河流水污染负荷贡献类型的方法。建立了一个简单的适合点源和非点源多种情况的时段通量计算方法, 改进了常规的点源和非点源分割方法——枯水期平均通量法, 提出了水污染负荷贡献类型的判别标准。应用实例表明, 该方法是可行的, 可为流域水污染控制规划提供科学依据和技术支持。

关键词

河流, 点源, 非点源, 通量, 污染

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

流域污染负荷包括点源和非点源两部分。目前, 我国几乎没有系统的长系列入河点源和非点源污染监测资料。河流水质污染监测则主要在可控制的河道断面上, 监测数据中的污染物既有来自点源污染物, 也有非点源污染物[1]。如何在现有监测资料的基础上确定点源和非点源污染负荷各自比重, 明确河流主要污染负荷的贡献类型, 是一项具有重要现实意义的工作, 将对污染源监控和管理有重要作用, 并直接决定污染治理投资的方向及强度。

河流污染物通量可为水污染控制提供重要信息和决策依据。目前, 关于河流污染物通量的估算方法大致有四种类型, 分时段通量和[2] [3] [4] [5]、时段平均浓度与时段水量之积[5] [6]、通量频率分布之和[7]、对流-扩散模式[4] [8]等。前2种类型较为常用, 后者比前者粗略。Webb等[9] (1997)采用实测断面瞬时浓度、时段平均浓度、断面瞬时流量、采样期间平均流量、时段平均流量等构造了5种时段通量的计算公式, 并进行了评估。结果显示各种方法估算的结果相差较大。富国[10] (2002)通过对5种估算方法的误差比较分析, 指出时均离散通量对估算误差具有一定的贡献, 在选择时段通量估算方法时应考虑污染源类别、污染物特性等因素影响。表1列出了5种时段通量估算方法、特点及应用取向分析。

根据河流断面污染物通量可以确定实际点源和非点源对通量的贡献, 对此国内外学者已开展一些研究[11] [12] [13] [14]。常规点源和非点源分割方法是枯水期平均通量法: 采用枯水期河道平均通量作为点源贡献进而推广到全年。该方法基本原理是认为非点源污染主要是由汛期地表径流引起的, 枯水期河水水质主要反映点源的污染情况, 可以忽略非点源贡献。其不足之处在于, 由于枯水期点源的流达率最低, 因此将枯水期平均通量作为点源平均通量估算到全年, 则可能导致点源年通量的低估。袁宇等[14] (2008)从实用的角度提出了以月径流量与月通量相关系数确定丰水期通量增量的非点源比例系数, 建立了河流年通量的点源和非点源分割公式, 但该方法在将枯水期平均月通量作为点源通量时未考虑背景负荷(可视为非点源部分)贡献, 可能一定程度上导致点源年通量的高估。

针对上诉情况本研究总结前人工作的基础上, 建立了一个简单的适合点源和非点源多种情况的时段通量估算方法, 改进了传统的点源和非点源通量分割方法, 提出了水污染负荷贡献类型的判别标准, 并

选取岷江流域主要控制断面进行了实例分析。

2. 研究方法

2.1. 河流断面污染物时段通量估算方法

本研究建立了一个简单的适合点源和非点源多种情况的时段通量估算方法，见式 1。

$$L = \alpha K \sum_1^n \frac{C_i Q_i}{n} + (1 - \alpha) K \sum_1^n C_i \bar{Q}_p \quad (1)$$

式中， C_i 为瞬时浓度； Q_i 为瞬时流量； \bar{Q}_p 为时段平均流量； n 为估算时间段内的样品数量； K 为时段长度； α 为权重系，根据 Q_i 和 C_i 的相关系数 r_{qc} 确定，若 Q_i 和 C_i 相关系数 $r_{qc} > 0.5$ ，则 $\alpha = 1 - r_{qc}$ ；若 Q_i 和 C_i 相关系数 $r_{qc} < -0.5$ ，则 $\alpha = |r_{qc}|$ ；若 Q_i 和 C_i 相关系数 $-0.5 \leq r_{qc} \leq 0.5$ ， $\alpha = 0.5$ 。

2.2. 河流断面通量点源和非点源的分割方法

本研究采用的点源和非点源通量分割方法如下：

枯水期月平均通量 \bar{L}_{da} ：

$$\bar{L}_{da} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{di} \times k_1 \quad (2)$$

点源年通量 L_n ：

$$L_n = \bar{L}_{da} \times 12 + \sum_{j=1}^m (L_{fj} - \bar{L}_{da}) \times (1 - k_2) \quad (3)$$

非点源年通量 L_p ：

$$L_p = \sum_{j=1}^m (L_{fj} - \bar{L}_{da}) \times k_2 \quad (4)$$

Table 1. The estimation methods, features and applied range analysis of the river period-fluxes

表 1. 河流时段通量的估算方法、特点及应用取向分析[10]

方法	时段通量估算式	通量估算方法要点	应用取向分析
A	$L_a = K \sum_1^n \frac{C_i}{n} \sum_1^n \frac{Q_i}{n}$	瞬时浓度 C_i 平均与瞬时流量 Q_i 平均之积	对流项远大于时均离散项的情况， 弱化径流量的作用，较适合点源占优的情况。
B	$L_b = K \left(\sum_1^n \frac{C_i}{n} \right) \bar{Q}_p$	瞬时浓度 C_i 平均与时段平均流量 \bar{Q}_p 之积	对流项远大于时均离散项的情况， 强调径流量的作用， 较适合非点源占优的情况。
C	$L_c = K \sum_1^n \frac{C_i Q_i}{n}$	瞬时通量 $C_i Q_i$ 平均	弱化径流量的作用， 较适合点源占优的情况。
D	$L_d = K \sum_1^n C_i \bar{Q}_p$	瞬时浓度 C_i 与代表时段平均流量 \bar{Q}_p 之积	强调径流量的作用， 较适合非点源占优的情况。
E	$L_e = K \frac{\sum_1^n C_i Q_i}{\sum_1^n Q_i} \bar{Q}_p$	时段通量平均浓度 $\frac{\sum_1^n C_i Q_i}{\sum_1^n Q_i}$ 与时段平均流量 \bar{Q}_p 之积	强调时段总径流量的作用， 较适合非点源占优的情况。

备注： n 代表估算时间段内的样品数量； K 为估算时间段转换系数(取时段长度)。

以上各式中, L_{di} 为枯水期第 i 月的月通量; L_{fj} 为丰水期或平水期第 j 月的月通量; n 为枯水期月数; m 为丰、平水期月数; K_1 为扣除背景负荷的调整系数, 根据枯水期平均浓度 $\overline{C_{da}}$ 和背景浓度 C_0 确定, 即 $K_1 = 1 - C_0 * e^{-kx/u} / \overline{C_{da}}$; K_2 为丰水期点源通量增量调整系数, 根据丰水期通量 L_{fj} 和径流量 Q_j 的相关系数 r_{qt} 确定, 即 $K_2 = r_{qt}$ 。

2.3. 河流断面水污染负荷类型的判别标准

在上述断面通量估算及点源和非点源分割方法的基础上, 本文将河流污染负荷贡献类型划分成 5 种类型, 分别为点源为主型、点源占优型、混合型、非点源占优型、非点源为主型。表 2 给出了以点源贡献比例为判据的水污染负荷贡献类型的判别标准。

3. 应用实例

3.1. 岷江主要断面污染物月通量

本研究方法应用于长江主要一级支流岷江, 表 3 为 2013 年岷江主要控制断面高锰酸盐指数和氨氮

Table 2. Description of water pollution load types

表 2. 水污染负荷类型分类

污染负荷贡献类型	点源贡献比例 r
点源为主	$r \geq 80\%$
点源占优	$60\% \leq r < 80\%$
混合型	$40\% < r < 60\%$
非点源占优	$20\% < r \leq 40\%$
非点源为主	$r \leq 20\%$

Table 3. Estimation of fluxes per month of Min River in 2007

表 3. 2013 年岷江主要控制断面污染物月通量估值

月份	高锰酸盐指数				氨氮			
	彭山	五通桥	高场	大渡河	彭山	五通桥	高场	大渡河
1	1874.2	6634.2	4912.1	2199.7	828.6	1082.5	586.7	266.1
2	1044.8	4436.2	5395.1	2031.7	1090.9	327.7	314.3	377.6
3	823.6	4918.0	4937.9	2306.3	965.5	1203.7	277.5	193.9
4	886.2	4722.8	3643.5	3354.8	921.6	1325.2	296.3	878.3
5	1075.8	8528.6	13623.0	7379.8	780.1	679.1	273.2	550.6
6	2515.0	21284.4	41188.2	19272.1	1182.7	1533.0	588.4	1156.6
7	7750.9	33602.1	29445.1	28881.8	1583.0	1762.0	733.4	1416.6
8	9419.9	25949.9	48527.6	16740.4	1948.4	1238.4	1230.9	945.0
9	3668.6	18162.6	27434.7	18252.5	552.5	2789.4	1172.8	1873.8
10	5315.6	15205.7	15607.1	9910.7	1834.8	1640.0	245.2	993.3
11	2125.5	9169.7	9952.6	6260.5	951.3	736.9	222.2	441.5
12	1595.2	3933.6	7196.1	2338.8	1331.3	629.3	356.8	309.7

污染物月通量估值。可以看出,在2013年6~9月的丰水期内,各断面高锰酸盐指数的月通量较高,与径流量有较高的相关性。表4为各断面高锰酸盐指数和氨氮指标月均浓度和月通量分别与径流量的相关系数,由表4可知,各断面高锰酸盐指数的月通量与径流量的相关系数分别为0.94, 0.94, 0.89和0.92,说明岷江高锰酸盐指数通量与径流量关系密切。高场和大渡河断面氨氮丰水期(6~9月)月通量较高,与径流量的相关系数为0.90和0.76。而彭山和五通桥断面氨氮月通量和径流量的相关系数较低,为0.62和0.65,这一差别应该是这两个断面氨氮指标的点源贡献率较高所致。这一结论可由表4中显示的彭山和五通桥断面氨氮月均浓度和径流量呈现较好的负相关性得到进一步证实。

3.2. 污染负荷贡献类型分析

根据前文确定的河流断面水污染负荷类型的判别标准,我们对四个断面高锰酸盐指数和氨氮的污染负荷贡献类型进行分析,结果表明,就高锰酸盐指数而言,彭山断面属于混合型,为点源和非点源共同作用。五通桥、高场及大渡河断面都显示以非点源占优。氨氮在彭山断面显示出明显的点源贡献为主,五通桥断面也显示为点源占优,高场断面属于混合型,大渡河断面表现出非点源贡献较高。总的来说,流域高锰酸盐以非点源贡献为主,氨氮以点源贡献为主(表5)。

彭山断面上游的成都市是岷江流域污染负荷最大的输入区,是流域高锰酸盐指数和氨氮点源污染负荷的主要输入区,致使流域成都以下江段水质受到污染。五通桥和高场断面在大渡河支流汇入岷江干流以下,大渡河水质以非点源来源为主,其水量在一定程度上对岷江干流彭山断面下来的物污染物进行了稀释。

4. 结论和建议

1) 本文在前人工作的基础上建立了一个简单的通量计算方法,该方法适合点源和非点源多种情况的时段。该方法的下一步工作是利用自动监测站数据,验证其准确性,并与其他方法进行对比分析。

2) 本文在概念上明确点源和非点源分割改进的方法,从实用角度提出以月径流量与月通量相关系数确定丰水期点源通量增量调整系数。该方法的主要改进方向在于丰水期点源通量增量的调整系数更精确的估算。

Table 4. Linear correlations of runoff volume per month and concentration and flux per month of Min River

表 4. 岷江 2013 年月经流量与各污染物月均浓度和月通量的线性相关系数

相关关系	高锰酸盐指数				氨氮			
	彭山	五通桥	高场	大渡河	彭山	五通桥	高场	大渡河
Q 与 C 相关系数 r_{qc}	-0.77	0.23	0.35	0.73	-0.70	-0.56	-0.47	-0.31
Q 与 L 相关系数 r_{ql}	0.94	0.94	0.89	0.92	0.62	0.65	0.90	0.76

Table 5. Distribution of point source and non-point source

表 5. 点源与非点源对通量的贡献率及类型分析

	高锰酸盐指数				氨氮			
	彭山	五通桥	高场	大渡河	彭山	五通桥	高场	大渡河
点源贡献率%	46	37	32	23	93	62	52	36
非点源贡献率%	54	63	68	77	7	38	48	64
污染负荷贡献类型	混合型	非点源占优	非点源占优	非点源占优	点源为主	点源占优	混合型	非点源占优

3) 岷江流域主要断面实例计算分析表明本文提出的负荷估算及贡献类型识别方法的实际效果。流域高锰酸盐污染主要以非点源贡献为主, 氨氮以点源贡献为主, 结果可为流域水污染控制规划提供科学依据。

项目基金

国家水体污染控制与治理科技重大专项 2017ZX07301。

参考文献 (References)

- [1] 蔡明, 牛卫华, 李文英. 流域污染负荷分割研究[J]. 人民黄河, 2006, 28(7): 24-26.
- [2] 蒋岳文, 陈淑梅, 关道明, 等. 辽河口营养要素的化学特性及其入海通量估算[J]. 海洋环境科学, 1995, 14(4): 39-45.
- [3] 刘绮. 汞入海通量及其污染因素分析与防治方法探讨[J]. 人民珠江, 1996(6): 44-47.
- [4] 杨逸萍, 胡明辉, 陈海龙, 等. 九龙河口生物可利用磷的行为与入海通量[J]. 台湾海峡, 1998, 17(3): 270-274.
- [5] 叶立群. 珠江重金属入海通量探讨[J]. 环境与开发, 2001, 16(2): 52-54, 22-30.
- [6] 刘国华, 傅伯杰, 杨平. 海河水环境质量及污染物入海通量[J]. 环境科学, 2001, 22(4): 46-50.
- [7] 于建中. 复合 Weibull 分布在五里河乳化油排海总量及降解研究中的应用[J]. 辽宁城乡环境科技, 1997, 17(4): 45-48.
- [8] Boyle, E., Collier, R., Dengler, A.T., et al. (1974) On the Chemical Mass-Balance in Estuaries. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **38**, 1719-1728. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(74\)90188-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(74)90188-4)
- [9] Webb, B.W., Phillips, J.M., Walling, D.E., et al. (1997) Load Estimation Methodologies for British Rivers and Their Relevance to the LOIS RACS(R) Programme. *Science of Total Environment*, **194/195**, 379-389. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(96\)05377-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(96)05377-6)
- [10] 富国. 河流污染物通量估算方法分析 I: 时段通量估算方法比较分析[J]. 环境科学研究, 2003, 16(1): 1-6.
- [11] Vink, R., Behrendt, H. and Salomons, W. (1999) Development of the Heavy Metal Pollution Trends in Several European Rivers: An Analysis of Point and Diffuse Sources. *Water Science Technology*, **39**, 215-223.
- [12] Grimvall, A., Stalnacke, P. and Tonderski, A. (2000) Time Scales of Nutrient Loss from Land to Sea: A European Perspective. *Ecological Engineering*, **14**, 363-371. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(99\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(99)00061-0)
- [13] 夏星辉, 周劲松, 林志峰, 陈静生. 黄河流域河水氮污染分析[J]. 环境科学学报, 2001, 21(5): 563-568.
- [14] 袁宇, 朱京海, 侯永顺, 胡筱敏. 污染物入海通量非点源贡献率的分析方法[J]. 环境科学研究, 2008, 21(5): 169-172.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org