

# 泾河流域陕西段水环境容量估算和分配模型研究

王菊翠<sup>1,4</sup>, 陈书中<sup>3</sup>, 胡安焱<sup>1,4</sup>, 霍艾迪<sup>1,4</sup>, 仵彦卿<sup>2</sup>

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 西安 710054; 2. 西安理工大学 水利水电学院, 西安 710048;

3. 河南省有色金属地质矿产局第六地质大队, 郑州 450016; 4. 陕西省环境保护水土污染与修复重点实验室, 西安 710054)

**摘 要:**非点源污染河流的水环境容量研究对其污染物总量控制具有现实意义。采用输出系数法计算年投放量和年入河量,对年入河量进行按月分配,通过河流输入—输出平衡关系计算研究河段的月自净水量。结果表明:按照水环境功能区划中Ⅲ类水质的要求,泾河流域陕西段总氮全年超标,流域内各污染源的总氮投放量均需削减,削减总量达到 3 191.891 1 t;按照污染源削减量分配结果,土地利用类型是总氮污染削减量最大的(1 294.239 6 t),而畜禽养殖是削减比例最大的污染源(47.76%)。从污染源的时间分配来看,降水量大的丰水期是污染物削减量最大的时期,各污染源的削减量随着降水径流的增大而增大,说明降水径流是造成泾河流域陕西段总氮污染的限制性因子。

**关键词:**水环境容量; 输出系数法; 总氮; 泾河

中图分类号:X524

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)06-0160-06

## Study on Estimation and Allocation of Water Environmental Capacity in Jinghe River, Shaanxi Province, China

WANG Jucui<sup>1,4</sup>, CHEN Shuzhong<sup>3</sup>, HU Anyan<sup>1,4</sup>, HUO Aid<sup>1,4</sup>, WU Yanqing<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. College of Water Conservancy and Hydropower, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 3. He'nan Provincial Non-ferrous Metals Geological and Mineral Resources Bureau No.6 Geological Unit Team, Zhengzhou 450016, China; 4. Key Laboratory of Environmental Protection & Pollution and Remediation of Water and Soil of Shaanxi Province, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The research on river water environmental capacity has practical significance for its pollutant total control in river which is non-point source pollution. Based on the investigation of the application and emission of total nitrogen (TN) for non-point river catchment's area, the quantities of TN entering the river were computed by means of export coefficient model in Jinghe River. Self-purification capacities of TN in the reach were also estimated in terms of input-output balance. According to the water environment Ⅲ water quality target, TN exceeds the standard all year round, and all pollution sources reduction of TN amounted to 3 191.891 1 tons. According to the analysis result, the land use type is the largest amount of total nitrogen pollution reduction (1 294.239 6 t), and livestock farming is the largest sources of pollution cut proportion (47.76%). From the time distribution of pollution sources, wet reason is the right time of pollution reduction, and pollutant reduction amount of each pollution source enlarges with the increase of runoff. Rainfall runoff is the restrictive factor of total nitrogen pollution in Jinghe River, Shaanxi Province.

**Keywords:** water environmental capacity; export coefficient; total nitrogen; Jinghe River

水环境容量是指水体在设计水文条件和规定的环境目标下所能容纳的最大污染量。它反映了污染物在环境中的迁移、转化和积存规律,也反映了水环境在满足特定功能条件下对污染物的承受能力。按照污染物降解机理,水环境容量包括稀释容量和自

净容量两部分。稀释容量是指在给定水域的来水污染物低于出水水质目标时,依靠稀释作用达到水质目标所能承纳的污染量。自净容量是由于沉降、吸附、生物化学等物理、化学和生物作用,给定水域达到水质目标所能自净污染物的量。水环境容量的估算

是水质目标管理的基本依据,是水环境规划的主要约束条件,也是污染物总量控制的关键技术支持。当前的水环境容量研究主要针对以点源污染为主的河流<sup>[1-4]</sup>,对点源和面源同污染的河流也有研究<sup>[5-6]</sup>,但对以非点源为主河流的水环境容量研究几乎没有。随着人口的增加和农业的快速发展,非点源污染问题越来越突出,将非点源污染纳入到污染物总量控制体系中具有非常重要的意义。针对泾河流域陕西段的水污染现状及污染特征,提出非点源污染河流的环境容量研究及削减方案,为泾河乃至渭河的水污染控制提供理论依据。

国外学者对环境容量的研究采用水质数学模型的方法进行了很多研究,从1925年 Sreeter and Phelps 首次建立了 DO—BOD 一维水质模型,经过几十年的发展,已发展了如美国的 QUAL-I 和 II 河流综合水质模型、河口水质模型(ES001)和动态河口模型(DEM)等许多形式的水质模型。随着计算机技术的日趋成熟,出现了一些水质模型通用软件,如美国环保局推出了一维水质模型 QUAL2E 和 WASP (Water Quality Analysis Simulation Program) 软件系统。我国对环境容量的研究大致分为4个阶段,从20世纪70年代末至80年代初提出了水环境容量的概念,分析水环境容量的影响因素,到出现了多目标综合评价模型、潮汐河网地区多组分水质模型、非点源模型、大规模系统优化规划模型等,促进了水环境容量应用研究的发展。20世纪90年代以来,环境容量研究已全面进入应用阶段,明确规定在全国范围内对环境危害较大的12种污染物实行总量控制制度,许多学者对中国的许多重要河流的水环境容量进行了研究,成果大量涌现。一些学者对湖泊水、感潮河段和河网水环境容量进行了研究<sup>[7-9]</sup>。不少学者对河流水环境容量的计算方法进行了深入的探讨,其大致可分为3类:解析公式算法<sup>[10]</sup>,模型试错法<sup>[11]</sup>和系统最优化分析方法<sup>[12]</sup>。水环境容量的大小不仅与环境水体自身特征有关,还受控制断面的水质目标,污染物的排放方式和排污的位置<sup>[13]</sup>和污染物的混合程度<sup>[14]</sup>等影响。

泾河是渭河的一级支流,黄河的二级支流,泾河陕西段流经黄土高原沟壑区、丘陵沟壑区和渭河阶地区。该地农业发达,工业仅有少量的果汁厂和煤矿。经过水质评价,泾河水污染主要是有机型污染和氮污染,研究区控制断面总氮的水质均为V类或劣V类<sup>[15]</sup>。通过实地调研,河流氮污染主要以非点源污染为主,营养源主要考虑土地利用、农村生活和畜禽

养殖3大类<sup>[16]</sup>。结合各种营养源数据统计资料,在考虑降雨因素和流域损失因素的影响下,利用输出系数法模型估算出张家山断面以上总氮非点源负荷。研究区控制断面的水质均为V类或劣V类,对上下游均超出水环境功能区划水质标准的研究河段,可利用的水环境容量为研究段的自净水量。本研究针对以非点源污染为主的河流污染总量控制问题,提出适用于非点源污染河流的水环境容量和相应集水区内污染源投放削减量的分月估算方法,同时提出考虑环境、社会和经济协调发展的水环境容量和污染源投放削减量分配方案,以建立非点源污染总量控制的方法体系。

## 1 研究区概况

泾河是渭河的两大支流之一,在陕西省境内长272.5 km,流域面积9 210 km<sup>2</sup>。泾河陕西段干流有景村断面和张家山断面。泾河流域在陕西省境内张家山断面以上主要为黄土高原沟壑区和丘陵沟壑区,高原沟壑区源面平整,为农业较集中的地区,丘陵沟壑区沟壑发育,植被较差,水土流失严重;张家山以下为河川阶地区。该区多年平均降水量556 mm,降水量年际变差大,年内分配也很不均匀,7—10月4个月降水量占全年降水量的56%。该区农业以小麦、玉米等为主,工业不发达,主要有小型的果汁厂、煤矿等乡镇企业。随着工农业的逐步发展,泾河水环境已逐年恶化。泾河陕西段污染物除了来自泾河上游的有机废水(来自甘肃)外,张家山断面以上主要接纳咸阳市的长武、彬县、泾阳、旬邑、永寿5个县的全部或部分工业污水和城镇生活污水及农业生产所带来的非点源污染,这些污染已严重地影响到河流的水质。

## 2 材料和方法

### 2.1 基础资料的收集

河流的水文水质数据和降水量数据由陕西省水文局水环境监测中心和勘察处提供,流域内土地利用面积、人口、畜禽养殖和经济产值等数据由陕西省咸阳环保局环境监测站提供。河流水环境功能区标准根据《陕西省咸阳市水环境功能区划汇总分析报告》确定,水质标准采用《国家地表水环境质量标准》(GB3838—2002)。

### 2.2 相应集水区氮投放量和入河量估算及水环境容量分配方法

通过实地调查,结合研究区的统计资料,分析出集水区内氮的各种污染源,采用输出系数法模型<sup>[17-18]</sup>

估算氮的投放量和入河量。氮投放量是指不同土地利用类型中氮的投入量、生活和畜禽养殖产生的氮排放量之和。入河量是投放量经过各种复杂过程后进入河流的量。然后根据河流污染负荷的质量守恒定律,估算河流对氮每月的自净能力,结合统计分析,建立河流自净量的估算模型。以此为依据,估算为保证河流水质达标的每月水环境容量或相应集水区内的非点源氮投放的削减量。

2.2.1 集水区氮投放量和入河量估算方法 通过实地调查,研究区污染物主要来自于不同土地利用类型中氮的输出以及农村生活和畜禽养殖所产生的氮排放,在研究区除了一些煤矿企业和小型果汁厂排放的有机废水以外,几乎没有其他点源总氮排放量,因此可以忽略点源氮排放。河流相应的集水区氮年投放量(QAE,t/a)和年入河量(QIR,t/a)由公式(1),(2)估算。

$$QAE=W_f+W_d+W_k$$

(1)

式中: $W_f=\sum_{i=1}^4M_i\times A_i$ ;  $W_d=P_d\times A_d$ ;  $W_k=\sum_{i=1}^kQ_k\times A_k$   
其中: $W_f$ 为不同土地利用类型投入的氮量(t); $M_i$ 为不同土地利用类型的面积(ha); $A_i$ 为不同土地利用类型氮的输出系数(kg/ha·a); $W_d$ 为生活污染产生的氮量(t); $P_d$ 为人口总数(ca); $A_d$ 为每人每年的氮输出系数(kg/ca·a); $W_k$ 为畜禽养殖产生的氮量(t); $Q_k$ 为第k种畜禽的数量(ca); $A_k$ 为第k种畜禽的总氮输出系数(kg/ca·a)。

$$QIR=\sum_{i=1}^4M_i\times A_i\times\lambda_i+W_d\times\lambda_d+W_k\times\lambda_k$$

(2)

式中: $\lambda_i$ 为第*i*种土地利用类型的总氮入河系数(%); $\lambda_d$ 为生活污染产生的总氮入河系数(%); $\lambda_k$ 为第*k*种畜禽污染产生的总氮入河系数(%)。

2.2.2 集水区氮年入河量的按月分配方法 从非点源污染的定义和形成过程来看,流域的非点源负荷与降雨量的多少密不可分,降水产生的径流是非点源污染产生的原动力和载体,尤其在流域的丰水期,大的降雨量和持续较长的时间几乎能将所有的污染物迁移到河道水体中,因此降雨是产生非点源污染的主要原因。研究表明,河道水体中的非点源氮污染与降雨量呈正相关<sup>[19-20]</sup>。在一年里由于降雨具有时间的变异性,通过对泾河流域陕西段水体中氮浓度与降雨量和流量进行相关分析,氮浓度与降雨量和流量存在着显著的相关性。因此根据降雨量对集水区全年氮入河量进行按月分配:

$$QIR_m=\frac{P_m}{P_{year}}\times QIR$$

(3)

式中: $QIR_m$ 为第*m*个月集水区氮入河量(t/月); $P_m$ 为

第*m*个月的降雨量(mm); $P_{year}$ 为全年降雨量(mm)。

2.2.3 河流氮自净量估算方法 根据质量守恒定律,河流中氮的输入和输出总负荷相等。河流中氮月总输入负荷量包括集水区月入河量和上游流入(IPL<sub>*m*</sub>,t/月)的负荷量;月总输出负荷量包括月下游的输出量(DPL<sub>*m*</sub>,t/月)和河流的自净量(RPL<sub>*m*</sub>,t/月)。河流的污染负荷通过公式(4),(5),(6)进行估算:

$$IPL_m=c_{im}\times Q_{im}\times 0.0864\times t_m$$

(4)

$$DPL_m=c_{dm}\times Q_{dm}\times 0.0864\times t_m$$

(5)

$$RPL_m=QIR_m+IPL_m-DPL_m$$

(6)

式中: $c_{im}$ 为第*m*个月上游氮浓度(mg/L); $Q_{im}$ 为第*m*个月上游流量(m<sup>3</sup>/s); $t_m$ 为估算月份的天数(d); $c_{dm}$ 为第*m*个月下游氮浓度(mg/L); $Q_{dm}$ 为第*m*个月下游流量(m<sup>3</sup>/s)。研究区内河流的氮自净率由式(7)计算:

$$RPC_m=\frac{RPL_m}{QIR_m+IPL_m}$$

(7)

式中:RPC<sub>*m*</sub>为第*m*个月河流的氮自净率(%)。

### 3 结果和分析

#### 3.1 泾河流域张家山断面以上氮投放量和入河量

研究河段内各污染源的氮入河量大小直接影响河流的污染程度。通过调查研究污染源的来源,以2006年平水年和2007年丰水年的资料为例,研究河段内各个污染源总氮年投放量和入河量,由公式(1)和(2)计算,结果见表1,表2。

表 1 2007 张家山以上不同污染源的氮年投放量和入河量

| 污染源    | 总氮                           |                              | 各源入河量占总入河量的比例/% |
|--------|------------------------------|------------------------------|-----------------|
|        | 投放量/<br>(t·a <sup>-1</sup> ) | 入河量/<br>(t·a <sup>-1</sup> ) |                 |
| 土地利用类型 | 3481.2229                    | 1420.3386                    | 46.47           |
| 畜禽养殖   | 1454.4567                    | 593.4179                     | 19.42           |
| 农村生活污染 | 2555.6189                    | 1042.6921                    | 34.11           |
| 总量     | 7491.2966                    | 3056.4486                    |                 |

表 2 2006 张家山以上不同污染源的氮年投放量和入河量

| 污染源    | 总氮                           |                              | 各源入河量占总入河量的比例/% |
|--------|------------------------------|------------------------------|-----------------|
|        | 投放量/<br>(t·a <sup>-1</sup> ) | 入河量/<br>(t·a <sup>-1</sup> ) |                 |
| 土地利用类型 | 3417.5361                    | 1486.6282                    | 40.55           |
| 畜禽养殖   | 2483.5201                    | 1080.3312                    | 29.47           |
| 农村生活污染 | 2527.3699                    | 1099.4059                    | 29.99           |
| 总量     | 8428.4262                    | 3666.3654                    |                 |

从表中可以看出,2007年研究区内各种污染源总氮年总投放量和入河量分别为7491.2966t和3056.4486t,2006年分别为8428.4262t和3666.3654t。从各污染源的总氮入河量占总入河量的比例看,2007年土地

利用类型(46.47%)>农村生活污染(34.11%)>畜禽养殖(19.42%),2006 年土地利用类型(40.55%)>农村生活污染(29.99%)>畜禽养殖(29.47%)。显然,不同的土地利用类型施用的化肥是引起泾河流域陕西段总氮污染的主要原因,其次为农村生活污染。由于畜禽养殖的投放量减少所致,2007 年的氮投放量和入河量比 2006 年有所减少。

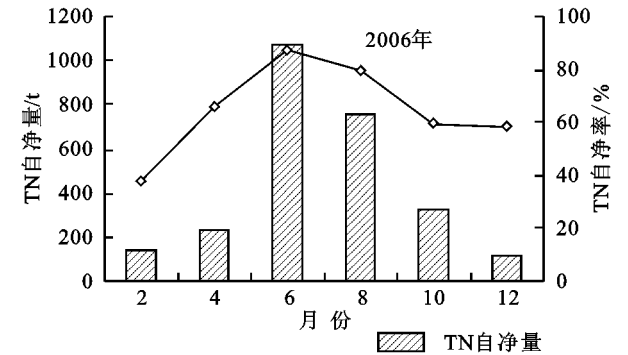
3.2 集水区总氮月入河量

以各年每月的降水量和年降水量应用公式(3)计算集水区内总氮的月入河量见表 3。

表 3 泾河流域张家山断面以上总氮的月入河量

| 月份   | 2006 年总氮<br>月入河量/<br>(t/月) | 月入河量占<br>总入河量的<br>比例/% | 2007 年总氮<br>月入河量/<br>(t/月) | 月入河量占<br>总入河量的<br>比例/% |
|------|----------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1 月  | 139.6312                   | 3.81                   | 2.4487                     | 0.08                   |
| 2 月  | 163.8786                   | 4.47                   | 71.5016                    | 2.34                   |
| 3 月  | 10.0334                    | 0.27                   | 287.4756                   | 9.41                   |
| 4 月  | 225.7511                   | 6.15                   | 0.4897                     | 0.02                   |
| 5 月  | 382.9408                   | 10.44                  | 95.4987                    | 3.12                   |
| 6 月  | 993.3049                   | 27.09                  | 372.6899                   | 12.19                  |
| 7 月  | 397.9909                   | 10.86                  | 872.7113                   | 28.55                  |
| 8 月  | 516.7192                   | 14.09                  | 771.8255                   | 25.25                  |
| 9 月  | 511.7025                   | 13.96                  | 246.8274                   | 8.08                   |
| 10 月 | 230.7678                   | 6.29                   | 284.5372                   | 9.31                   |
| 11 月 | 64.3809                    | 1.76                   | 15.6716                    | 0.51                   |
| 12 月 | 29.2640                    | 0.79                   | 34.7713                    | 1.14                   |

从表 3 可以看出,2007 年入河量最大的是丰水期的 7 月,8 月,总氮入河量分别达到 872.711 3 t 和 771.825 5 t,占总入河量的 28.55%和 25.25%,枯水期的 1 月,2 月和 11 月,12 月 4 个月总氮入河量占总入河量的 4.07%,丰水期的 4 个月(7—10 月)占总入



河量的 70.19%;2006 年入河量最大的是 6 月,总氮入河量达 993.304 9 t,占总入河量的 27.09%,枯水期的 1 月,2 月和 11 月,12 月 4 个月总氮入河量占总入河量的 10.83%,丰水期的 4 个月(7—10 月)占总入河量的 66%。因此总氮主要在每年的丰水期以降水径流的形式进入主河道里。

3.3 集水区总氮的自净量和自净率

污染物排入水体后,一方面对水体产生污染,另一方面水体本身有一定的净化污水的能力,即经过水体的物理、化学与生物的作用,使污水中污染物的浓度得以降低。影响水体自净的因素很多,其中主要因素有:接纳水体的地理地形条件、水文条件、微生物的种类与数量、水温、复氧能力以及水体和污染物的组成、污染物浓度等。水文要素中的流速、流量直接影响到水体流动强度和紊动扩散强度,流速和流量大,不仅水体中污染物浓度稀释扩散能力加强,而且水汽界面上的气体交换速度也随之增大。河流中流速和流量有明显的季节变化,洪水季节,流速和流量大,有利于自净;枯水季节,流速和流量小,则不利于净化。河流中含沙量的多少对水中有些污染物质浓度有一定的影响<sup>[21]</sup>。水温不仅直接影响到水体中污染物质的化学转化速度,而且能通过影响水体中微生物的活性对生物化学降解速度产生影响,随着水温的增加,污染物的降解速度明显加快。水中微生物对污染物有生物降解作用,若水体中能分解污染物质的微生物品种多、数量大,则有利于水体自净过程。

河流的自净能力是以上各种因素共同作用的结果。根据景村和张家山的月水质水量资料和总氮的月入河量(张家山的水质资料双月测一次,计算时以双月计算),根据公式(6)、(7) 计算研究区氮自净量和自净率的月分布图见图 1。

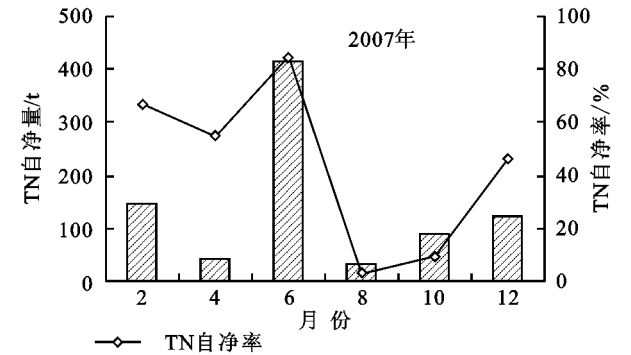


图 1 2006 年和 2007 年泾河水体张家山断面以上总氮每月自净量和自净率

从图 1 可以看出,泾河陕西段总氮的自净能力具有显著的时间变异性,河流的自净作用主要发生降雨集中且温度较高的丰水期。在 2006 年的 6 月和 8 月自净量占全年的 40.41%和 28.50%;2007 年的 6 月

的自净量占全年的 48.70%,而 8 月的自净量仅占全年的 4.13%,这主要是由于 8 月份的降水量占全年的 25.25%,由于降水的稀释作用使得总氮的浓度降低所致。分析总氮月自净量和自净率与每月的溶解

氧、水温和 TN 总输入负荷量的相关性见表 4。

表 4 泾河流域总氮月自净量和自净率的相关性分析

| 参数        | 总氮自净量        | 总氮自净率        |
|-----------|--------------|--------------|
| DO        | -0.568403019 | -0.390734026 |
| 水温        | 0.784220645  | 0.802053910  |
| TN 总输入负荷量 | 0.975025739  | 0.805335080  |

从表 4 可以看出,河流总氮的月自净量与溶解氧浓度呈负相关,这表明氮在河流中的自净过程需要消耗溶解氧。而总氮的自净量和自净率与温度呈正相关,这表明河流中的水生生物活性随着温度的增高而增强,从而促进了对水体中氮的降解和吸收作用。河流水体中总氮的自净量和自净率与 TN 总输入负荷量呈正相关,且相关性很大,说明河流中总氮的自净量和自净率随着其总输入负荷量的增加而增加,这主要是由于氮本身是许多水生生物的限制性营养元素,氮负荷量的增加促进了河流中水生生物的生长和繁殖,从而增加了对水体中氮的吸收利用量。因此,河流水体的自净量,不仅由于水文生态条件的影响而表现为较大的季节性变化,而且随着本身污染负荷量的增加而增加。因此,在建立非点源污染的河流水质模型以及以此为基础的水环境容量模型时,必须同时考虑不同时期河流对污染物自净能力的差异。

3.4 水环境容量和投放削减量的估算

同点源污染河流的水环境容量估算一样,非点源污染河流的水环境容量的重点是确定各功能区的水质目标和估算模型。根据陕西省咸阳市水环境功能区划要求泾河干流的水环境功能区为Ⅲ类水质(TN≤1.0 mg/L)。研究河段上游流入和下游流出的 TN 浓度均为 V 类水或超 V 类水,超过水环境功能区要求。显然,当上一河段的水质已经超标时,要求下一河段的水质达标,就意味着上一河段造成的河流污染责任,要由下一河段来承担,这是不公平也是不合理的。这种情况下如果要求水质达标,必须责成上游河段实现段末水质达标的控制与治理;而对于下一河段来说,只能要求下一河段的水质不能继续恶化,也就是说下一河段所能利用的水环境容量只能是该河段的自净容量,计算方法见公式(6)。

目前上游河段末水质超标的情况较为常见,因此就可以用河流的自净量为研究区的水环境容量。泾河流域陕西段的自净量在时间尺度上具有显著的变异性,因此按月建立水环境容量和投放削减量的估算模型。以泾河陕西段 TN 的自净量与其总输入负荷量之间进行回归方程拟合如下:

$$RPL_m = 1.0816 \times TL_m + 54.278$$
$$R^2 = 0.9507, p < 0.01$$

(8)

式中:RPL<sub>m</sub> 为河流的自净量(t/月);TL<sub>m</sub> 为 TN 总输入负荷量(t/月)。由于总氮污染的控制目标是第

m 个月的允许入河量等于河流对总氮的自净量。因此,允许入河量则可表达为:

$$ANL_m = 1.0816 \times (RPL_m + INL_m) + 54.278$$

(9)

式中:ANL<sub>m</sub> 为第 m 个月的允许入河量(t/月);INL<sub>m</sub> 为第 m 个月上游输入的总氮负荷量(t/月)。基于式(8)可以得到总氮投放削减量估算模型:

$$DQ_m = \sum_{n=1}^3 \frac{[QIR_m - f(INL_m)] \times C_{mn}}{\lambda_{mn}}$$

(10)

式中:DQ<sub>m</sub> 为第 m 个月污染源分配到的投放削减量(t/月);QIR<sub>m</sub> 为第 m 个月总氮的总入河量(t/月);f(INL<sub>m</sub>)为目标水质下第 m 个月河流的允许入河量(t/月),它是 INL<sub>m</sub> 的函数;C<sub>mn</sub> 为第 m 个月第 n 个污染源总氮入河量占总入河量的百分比(%);λ<sub>mn</sub> 为第 m 个月第 n 个污染源总氮入河系数(%)。

根据公式(10)计算,泾河流域陕西段 2006 年总氮需要的削减量见表 5。全年总氮需要削减 3 191.891 1 t 的投放量才能达到该流域河段水质不再进一步恶化的目标,这一总氮削减量占当前研究区总氮投放量的 37.87%。为了保证经济、社会、水环境的协调发展,各污染源的总氮投放量均需不同程度的削减,土地利用类型是总氮污染削减量最大的源(1 294.239 6 t),而畜禽养殖是削减比例最大的污染源(47.76%)。由于非点源污染的发生很大程度上受降水影响,降水在一年不同时期的变异性,导致非点源污染的时间变异性,除了源分配外,时间的分配也是必不可少的。总氮月投放削减量分配见图 2。从图中可以看出,降水量大的时期(8 月),也是污染物削减量最大的时期,各污染源的削减量随着降水径流的增大而增大,说明降水径流是造成泾河流域陕西段总氮污染的限制性因子,要减小总氮污染,就要限制非点源污染的发生。

表 5 泾河流域张家山断面以上总氮投放削减量

| 污染源    | 削减量/(t·a <sup>-1</sup> ) | 削减比例/% |
|--------|--------------------------|--------|
| 土地利用类型 | 1294.2396                | 37.18  |
| 畜禽养殖   | 940.5226                 | 47.76  |
| 农村生活污染 | 957.1288                 | 37.45  |
| 总量和比例  | 3191.8911                | 37.87  |

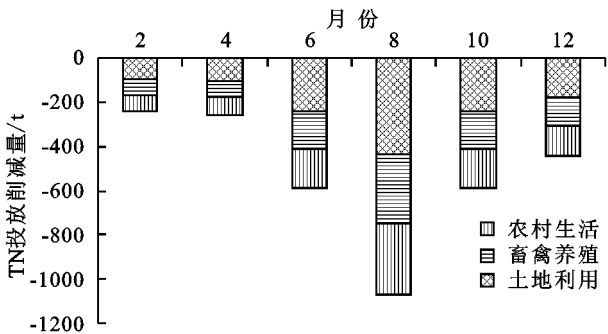


图 2 2006 年泾河流域张家山断面以上总氮月投放削减量

## 4 结论

(1) 通过调查研究区总氮的各种污染源,采用输出系数法模型估算总氮的投放量和入河量。对于以非点源污染为主的河流,入河量直接影响着河流的水质状况,且以土地利用类型的入河量所占的比例最大(40.55%和46.47%)。对年入河量进行按月分配,结果显示,总氮主要在每年的丰水期以降水径流的形式进入主河道里。

(2) 河流的自净能力受到河道的形状、水文条件、水温和微生物的种类和数量等各种因素共同作用的结果。根据质量守恒定律,估算研究区总氮月自净量和自净率,研究显示,泾河陕西段总氮的自净能力具有显著的时间变异性,河流的自净作用主要发生降雨集中且温度较高的丰水期,且随着污染负荷的增加而自净能力增强。

(3) 当河段的初始断面水质超标时,研究河段的可利用的水环境容量以取其自净量为宜。按照水功能区划中Ⅲ类水质的要求,泾河流域陕西段总氮全年超标,流域内各污染源的总氮投放量均需削减,削减总量达到3 191.891 1 t;按照污染源削减量分配结果,土地利用类型是总氮污染削减量最大的(1 294.239 6 t),而畜禽养殖是削减比例最大的污染源(47.76%)。从污染源的时间分配来看,降水量大的丰水期是污染物削减量最大的时期,各污染源的削减量随着降水径流的增大而增大,说明降水径流是造成泾河流域陕西段总氮污染的限制性因子。

### 参考文献:

- [1] 黄真理,李玉梁,李锦秀,等. 三峡水库水环境容量计算[J]. 水利学报,2004(3):7-14.
- [2] 栗苏文,李红艳,夏建新. 基于Delft3D模型的大鹏湾水环境容量分析[J]. 环境科学研究,2005,18(5):91-95.
- [3] 王华,逢勇,丁玲. 滨江水体水环境容量计算研究[J]. 环境科学学报,2007,27(12):2067-2073.
- [4] 胡国华,赵沛伦. 黄河孟津:花园口河段水环境容量研究[J]. 水资源保护,2002(1):26-28.
- [5] 范丽丽,逢勇,孙丽萍,等. 徐州市水环境质量研究[J]. 水资源保护 2007,23(1):57-59.
- [6] 朱杰,张成甫,付永胜,等. 九寨沟县地表水环境容量研究[J]. 安全与环境学报,2007,7(4):80-83.
- [7] 刘文祥,李喜俊,郭海燕. 新疆博斯腾湖水环境容量研究[J]. 环境科学研究,1999,12(1):35-38.
- [8] 徐贵泉,褚君达,吴祖扬,等. 感潮河水环境容量影响因素研究[J]. 水科学进展,2000,11(4):375-380.
- [9] 郑孝宇,褚君达,朱维斌. 河网非稳态水环境容量研究[J]. 水科学进展,1997,8(1):25-31.
- [10] 万金保,王嵘,黄学平. 安乐河 COD 环境容量的研究[J]. 江西农业大学学报,2006,26(5):805-807.
- [11] 曾思育,徐一剑,张天柱. 环状河网水质模型在水污染控制规划中的应用[J]. 水科学进展,2004,15(2):193-196.
- [12] 蒋晓辉,黄强,王增发. 无定河流域水环境规划研究[J]. 水土保持学报,2001,15(5):133-140.
- [13] 喻良,刘遂庆,王牧阳. 基于水环境模型的水环境容量计算的研究[J]. 河南科学,2006,24(6):874-876.
- [14] 戴本林,杨立中,贺玉龙,等. 四川省某河流水环境容量模型及测算分析[J]. 节水灌溉,2007(5):57-58.
- [15] 王菊翠,仵彦卿,党碧玲,等. 基于统计分析的陕西段泾河水质时空分布特征[J]. 自然资源学报,2012,27(4):674-685.
- [16] Jucui W, Yanqing W, Anyan H, et al. Application and establishment model of non-point source pollution based on statistical data[C]//Water Resource and Environmental Protection (ISWREP), 2011International Symposium on. IEEE,2011,2:854-858.
- [17] Johnes P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters:the export coefficient modelling approach[J]. Journal of Hydrology, 1996,183(3):323-349.
- [18] 蔡明,李怀恩,庄咏涛,等. 改进的输出系数法在流域非点源污染负荷估算中的应用[J]. 水利学报,2004(7):40-45.
- [19] 蔡明,李怀恩,庄咏涛. 估算流域非点源污染负荷的降雨量差值法[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(4):102-106.
- [20] 洪小康,李怀恩. 水质水量相关法在非点源污染负荷估算中的应用[J]. 西安理工大学学报,2000,16(4):384-386.
- [21] 石伟,王光谦. 流量和含沙量对水质参数影响分析[J]. 水利学报,2002(5):51-54.