

# 宁夏地区非点源污染负荷估算及评价

路康博 郝改瑞 彭春 刘天昊 艾青 苏祖琪

北方民族大学土木工程学院 银川 750021

DOI: 10.12238/ems.v7i11.16023

**[摘要]** 宁夏地区非点源污染负荷及其空间分布对于水环境保护意义重大,文章采用输出系数法和等标污染负荷法分析和评价其非点源污染负荷及空间分布。结果表明:2022年宁夏地区利用输出系数法计算出的TN、TP、COD、NH<sub>3</sub>-N的污染物负荷量分别为6.71、0.43、19.27、2.05万t,而对应的等标污染负荷法的结果分别为1341.8、427.2、128.5和409.9亿m<sup>3</sup>;各污染源等标污染负荷结果在其空间负荷分布上具有较强的一致性,TN污染主要来源是农业用地,TP、COD、NH<sub>3</sub>-N污染主要来源是畜禽养殖。同时,宁夏地区不同区县的等标污染负荷空间分布也存在差异性,未来针对宁夏地区非点源污染治理可根据不同区县的污染源情况,制定相适宜的治理措施及方案,有效的减轻各区县的源头污染。

**[关键词]** 宁夏地区;非点源污染;输出系数法;等标污染负荷法

**[中图分类号]** P333.1 **[文献标志码]** A

非点源污染问题是长期以来影响我国流域的水环境与水资源生态安全的重要影响因素之一,已成为国际流域水环境研究工作者所共同关注的话题<sup>[1-2]</sup>。党的二十大报告、《“十四五”重点流域水环境综合治理规划》中明确提出要推进流域干流及主要支流水质较差河段及二三级支流等“毛细血管”水环境综合治理,加强农业非点源污染防治,强化周边畜禽养殖管理。因此,研究农业源非点源污染的定量化及其污染特性是进行黄河水污染治理和水环境保护的重要依据。

宁夏地区主要河流有黄河干流及其支流。境内流域面积大于10000平方千米者仅黄河和清水河2条,大于1000平方千米的有15条。宁夏境内的黄河干流也是该地区的主要供水水源,该境内的黄河流域在自然地理、水资源、环境保护、生态、农业、经济发展以及文化与历史等方面都具有极其重要的地位和作用。杨淑静等<sup>[3]</sup>、张爱平在2009、2013年对宁夏引黄灌区农业非点源污染情况进行调查、原因分析以及评价,确定宁夏灌区农业非点源污染的主要来源以及其分布特征。李强坤以黄河上游青铜峡灌区为例,采取典型区监测试验与模型模拟相结合的研究手段,分析了主要污染物在灌区输水系统、田间系统和排水系统的运移特征;构成完整的农业非点源污染负荷模型,并应用模型计算出青铜峡灌区2008年典型时段的农业非点源污染输出负荷。张芮等对宁夏沿黄经济带区域污染负荷特征进行分析,通过分析不同地市的污

染物入河量贡献率并给出相关的污染防控建议。相对其他地区,宁夏地区非点源污染研究还相对较少,且宁夏地区非点源污染研究主要集中在氮、磷上,对COD和NH<sub>3</sub>-N研究较少,因此本文以宁夏地区内的22个区县作为研究对象,利用输出系数法和等标污染负荷法估算及评价该区域2022年的TN、TP、COD和NH<sub>3</sub>-N污染负荷,以期摸清农业非点源污染的来源及空间分布特征,并提出适宜的治理及控制防治措施,为黄河流域生态建设、水环境污染及水资源管理等方面提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

宁夏回族自治区位于中国西北地区的东北部,黄河中上游地区,地处北纬35°14′-39°23′,东经104°17′-107°39′,总面积为6.64万km<sup>2</sup>。宁夏南北气候悬殊,南端属暖温带半干旱区,中部属中温带半干旱区,北部则为中温带干旱区。全年各地年平均气温为6.9℃-11.5℃,降水量南多北少,且集中在夏季。

### 1.2 数据来源及方法

本研究使用数据包括如下:宁夏地区2022年土地利用数据,畜禽养殖及农村人口数据来自2023年宁夏回族自治区统计年鉴。本文取猪和家禽的数量为当年的年内出栏数量,牛和羊的数量为当年的年末存栏数量。

#### 1.2.1 输出系数法

采用输出系数法估算宁夏地区流域各区县的非点源污染负荷, 公式为:

$$L_i = \sum_{j=1}^m E_{ij} A_j + p \quad (1)$$

式中,  $L_i$  为污染物  $i$  的负荷量 (kg/a);  $E_{ij}$  为在第  $j$  种土地利用类型导致的第  $i$  种污染物的输出系数 [kg/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )] 或第  $j$  种畜禽养殖导致的第  $i$  种污染物的输出系数 [kg/(头(只)·a)] 或人口因素导致的第  $i$  种污染物的输出系数 [kg/(人·a)];  $A_j$  为第  $j$  种土地利用类型的面积 ( $\text{hm}^2$ ) 或第  $j$  种畜禽养殖的数量 [头(只)] 或人口数量 (人);  $p$  为降雨输入的污染物总量 (kg/a), 由于其量值较小, 可忽略不计。

综合该流域的实际情况, 本文的非点源污染源主要考虑农业用地、畜禽养殖及农业人口 3 大类。其中, 将农业用地分为耕地、林地、草地、园地 4 种类型, 畜禽养殖又分为猪、牛、羊、家禽 4 种类型。利用输出系数法时, 污染物的负荷量和污染源面积及输出系数有关, 因此只有确定合理的输出系数, 才能提高非点源污染负荷估算的准确性。影响输出系数的因素主要有水文气候条件、下垫面条件和人类活动等。相应的输出系数值一般通过查阅文献、野外监测和数学统计等方法确定。本文采用查阅文献法获取研究区域土地利用、畜禽养殖和农村人口的非点源污染输出系数, 该研究区域处于我国西北内陆半干旱区域, 因此根据张芮、杜娟、宋嘉、李家科、郭子扬、王艳等的研究, 综合得出 TN、TP、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$  污染负荷的输出系数值。

### 1.2.2 等标污染负荷法

利用等标污染负荷法可在同一标准上对不同污染物进行比较。某污染物的等标污染负荷量是指在单位时间内排出的含该污染物的水体的等标体积。公式为:

$$P_{ij} = L_{ij} / c_{0i} \quad (2)$$

式中,  $P_{ij}$  为第  $j$  个污染源第  $i$  个污染物的等标污染负荷量,  $10^6 \text{m}^3/\text{a}$ ;  $L_{ij}$  为第  $j$  个污染源第  $i$  个污染物的污染负荷量,  $\text{t/a}$ ;  $c_{0i}$  为污染物  $i$  的评价标准值。

宁夏地区黄河干流流域水质以 II、III 类为主, 结合宁夏回族自治区生态环境厅地表水环境质量状况公报, 该地区的评价标准值采用《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002) 中地表水环境质量标准基本项目 II 类标准限值进行等标处理核

算(其中 TN、TP、COD 以及  $\text{NH}_3\text{-N}$  的评价标准值分别为 0.5mg/L、0.1mg/L、15mg/L、0.5mg/L)。

## 2 结果与分析

### 2.1 农业源污染物负荷特性解析

利用等标污染负荷法和输出系数法计算出 2022 年宁夏地区 22 个区县不同类型污染物指标的农业源污染负荷。2022 年宁夏地区利用输出系数法计算出的 TN、TP、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$  的污染负荷量分别为 6.71、0.43、19.27、2.05 万 t, 而对应的等标污染负荷法的结果分别为 1341.8、427.2、128.5 和 409.9 亿  $\text{m}^3$ 。从宁夏地区的整体空间分布特征来看, TN、TP、COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$  污染物输出最大是固原市西吉县和中卫市海原县, 主要是因为该地区的土地利用类型多, 畜禽养殖较为发达, 农村人口相对较多, 污染输出相对较多。非点源污染负荷量相对较小的是银川市金凤区, 此地耕地面积占比和畜禽养殖数量较少。2022 年宁夏地区流域各类非点源污染等标污染负荷总量为 2307.4 亿  $\text{m}^3$ 。其中源自农业用地、畜禽养殖、农村生活的等标污染负荷总量分别为 1032.7 亿  $\text{m}^3$ 、1094.3 亿  $\text{m}^3$ 、180.3 亿  $\text{m}^3$ , 占比分别为 44.76%、47.19% 和 7.82%。说明宁夏地区流域主要污染源是畜禽养殖和农业用地, 两者占到 92.2%。

### 2.2 等标污染负荷量空间分布特征

借助 ArcGIS 软件, 结合表 3 将等标污染负荷量添加至宁夏行政区划属性表中, 且划分了 5 种等标污染负荷等级, 绘制出 2022 年宁夏各区县的 TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD 的等标污染负荷空间分布图, 如图 1 所示。等标污染负荷空间分布具有较强的一致性, 各污染物等标污染负荷量呈现南部高北部较低的现象, 通过分析发现宁夏南部地区农业用地面积较大, 畜禽养殖业较为发达, 农村人口也较多, 导致该地区各区县的等标污染负荷量都较大。吴忠市的土地利用面积 (139.01 万  $\text{hm}^2$ )、畜禽养殖 (738.89 万只) 均是最大值, 导致该市产生的 TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD 的等标污染负荷贡献率均达到 30% 左右。宁夏地区各市等标污染负荷贡献率从大到小排序为: 吴忠市 (29.60%) > 固原市 (25.20%) > 中卫市 (21.59%) > 银川市 (15.63%) > 石嘴山市 (7.97%)。各污染指标等标污染负荷的最大值均集中出现于西吉县、海原县、沙坡头区、盐池县和同心县, 其贡献率均在 6.5% 以上。其原因是这些区

县的农业用地面积较大,尤其是畜禽养殖业较发达,大规模化的化肥施肥及畜禽粪便都会加剧非点源污染。最小贡献率的地区出现在大武口区、金凤区,占比不超过1%。

### 2.3 不同污染源的贡献率分布特征

统计2022年宁夏地区各区县不同污染源的等标污染物负荷计算其贡献率占比,以及不同污染源各污染指标贡献率占比,绘制各区县的农业用地、畜禽养殖和农村生活的贡献率空间分布图,可知,农业用地对TN污染的贡献率达51.02%;农业用地和畜禽养殖对TP污染的贡献率相差不多,均达到45%以上;畜禽养殖对NH<sub>3</sub>-N、COD污染的贡献率均大于50%,分别达到63.02%和57.06%。相比农村生活,TN、TP、NH<sub>3</sub>-N、COD污染主要来源于农业用地和畜禽养殖,两者贡献率之和均值超过90%,农村生活相较于其他污染源对COD的等标污染负荷贡献较多。

为确定各县区农业非点源污染的主要来源,制定具有针对性的控制措施,综合分析发现各区县的等标污染负荷均是农业用地和畜禽养殖贡献。各区县的TN、TP、COD等标污染负荷以农业用地、畜禽养殖为主,NH<sub>3</sub>-N等标污染负荷以畜禽养殖源为主。其中,盐池县TN、NH<sub>3</sub>-N污染指标中农业用地的贡献率最高,分别为78.68%、59.62%;农业用地对大武口区TP、COD污染负荷贡献率最高,分别为71.58%、53.12%;畜禽养殖对利通区TN、TP、NH<sub>3</sub>-N、COD的污染负荷贡献率均最大,分别为77.62%、77.09%、87.69%、77.92%;农村生活对金凤区TN、TP、NH<sub>3</sub>-N、COD的污染负荷贡献率最大,分别为37.68%、47.63%、42.80%、66.74%。同时,对于等标污染负荷较大的大武口区、海原县、同心县、沙坡头区,TN贡献率(大于60%)最大的均为农业用地,而对COD贡献率较大的则是农村生活。因此,针对不同区县的农业非点源污染治理应根据实际情况因地制宜,制定不同的治理方案。主要对农业用地污染进行管控的地区有:大武口区、盐池县、同心县、海原县、中宁县、沙坡头区等;畜禽养殖污染管控的地区则主要为:利通区、青铜峡市、灵武市、惠农区、平罗县等。

### 3 结论

(1)2022年宁夏地区利用输出系数法计算出的TN、TP、COD、NH<sub>3</sub>-N的污染物负荷量分别为6.71、0.43、19.27、2.05万t,而对应的等标污染负荷法的结果分别为1341.8、427.2、

128.5和409.9亿m<sup>3</sup>。

(2)宁夏地区农业污染源对TN、TP、NH<sub>3</sub>-N、COD等标污染负荷量的贡献主要来自于农业用地和畜禽养殖,与宁夏本地产业契合。根据农业源污染物的类型和空间分布进行分析,发现农业土地利用面积大、畜禽养殖业发达、农村人口较多的区县对应的等标污染负荷量较大。

(3)TN污染的主要来源是农业用地,NH<sub>3</sub>-N、COD污染的主要来源是畜禽养殖,TP污染的主要来源是农业用地和畜禽养殖,各区县根据土地利用面积、畜禽养殖和农村生活等污染来源的分布以及非点源污染的主要控制区,采用合理的污染控制措施。对大武口区、盐池县、同心县、海原县、中宁县、沙坡头区等区县的农业用地污染进行管控,对利通区、青铜峡市、灵武市、惠农区、平罗县等区县的畜禽养殖污染进行管控,通过分类管理措施的实施及调整土地利用结构,从源头上减轻污染。宁夏本地盐碱地及矿化度高的水流较多,如何利用产学研方式从非点源本身机理、数值模型及可行性措施等方面加大研究,助力宁夏水环境保护,也可为其他类似区域提供治理思路和技术支持。

### 【参考文献】

- [1]郝改瑞. 汉江流域陕西段非点源污染特征及模型模拟研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2021.
- [2]李家科, 彭凯, 郝改瑞, 等. 黄河流域非点源污染负荷量化与控制研究进展[J]. 水资源保护, 2020, 37(1): 90-102.
- [3]杨淑静, 张爱平, 杨世琦, 等. 宁夏灌区农业非点源污染情况调查与原因分析[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(5): 256-260.

作者简介: 路康博(2003—), 男, 甘肃天水人, 本科, 研究方向为流域环境变化研究;

通讯作者: 郝改瑞(1986—), 女, 陕西绥德人, 博士, 讲师, 研究方向为流域非点源污染及水环境保护。

资助项目: 北方民族大学大学生创新创业训练计划项目资助(S202411407091), 宁夏自然科学基金项目(2023AAC03261), 北方民族大学青年人才培养项目编号(2021KYQD44)