

# 陕西省黑河流域水土流失型非点源污染估算

胥彦玲<sup>1</sup>, 李怀恩<sup>1</sup>, 贾海娟<sup>2</sup>, 倪永明<sup>3</sup>

(1. 西安理工大学 环境科学研究所, 陕西 西安 710048; 2. 西北大学, 陕西 西安 710069; 3. 北京自然博物馆, 北京 100050)

**摘要:** 为有效控制黑河流域非点源污染, 改善黑河水库水质, 按照行政区将黑河流域划分为 9 个地域单元。通过专家评判模式估算出了各行政单元的土壤侵蚀量。利用吸附态氮磷污染估算模型估算出了污染物流失量和吸附态氮磷污染负荷。结果表明, 厚畛子乡、陈河乡、甘峪湾乡以及马召乡 4 村是非点源污染控制的关键源区。退耕还林、减少耕地、增加植被覆盖度、合理利用土地是控制土壤侵蚀型非点源污染的有效措施。

**关键词:** 水土流失型; 非点源污染; 估算; 黑河流域

文献标识码: B

文章编号: 1000—288X(2005)05—0078—03

中图分类号: S157

## Estimate the Loss Load of Non-point Source Pollution by Soil and Water Loss in Heihe Basin of Shannxi Province

XU Yang-ling<sup>1</sup>, LI Huai-en<sup>1</sup>, JIA Hai-Juan<sup>2</sup>, NI Yong-ming<sup>3</sup>

(1. Institute of Environment Science of Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, Shaanxi Province, China;

2. Northwest University, Xi'an 710048, Shaanxi Province, China; 3. Beijing Natural History, Beijing 100050, China)

**Abstract:** To control effectively non-point pollution of the Heihe basin and improve water quality of Heihe river basin, the basin was partitioned to nine zones based on basin district. The expert judgment model was adopted to estimate the soil erosion intensity, and the absorbed nitrogen and phosphorus estimating model were used to estimate absorbed nitrogen and phosphorus loads. Houzhenzi county, Chenhe county, Ganyuwan county and four village of Mazhao county are the key regions of non-point source pollution control. Returning farmland for forestry and pasture, decreasing tillage land, increasing vegetation cover ratio and rationally land use plan would be the effective measures of controlling absorbed nitrogen and phosphorus pollution.

**Keywords:** soil and water loss type; non-point source pollution; estimating; Heihe watershed

随着水土流失的发生将大量的泥沙和营养物质带入各种水体造成的各种污染, 本文定义为水土流失型非点源污染。黑河引水工程是西安市的主要供水水源, 其水质与水量直接关系到西安市 3.00 × 10<sup>6</sup> 市民的身体与健康与西安市社会经济的可持续发展。据调查, 近年来随着人类活动的增加, 由水土流失引起的非点源污染是黑河水库水体污染的重要来源之一, 而水体的主要污染物是氮、磷。本文利用黑河流域土地资源调查数据、土壤类型、水文站监测等资料, 通过专家评判模式对划分的各个地域单元的土壤侵蚀模数进行估算, 从而对流域氮、磷污染负荷进行了估算和分析。

黑河流域位于秦岭北麓, 面积 1 481 km<sup>2</sup>, 包括 8 个行政乡 4 个行政村。该区属温暖带半干旱、半湿润大陆性季风气候区, 四季分明、冬夏温差大多年平均

气温 13.2。受地形地貌、大气环流、太阳辐射等综合因素的制约, 该区降水、蒸发等气象因素在时空分布上有差异。流域径流主要由降雨形成, 径流年内变化较大, 年内分配亦不均匀。区内地貌类型大体可分为: 低山陡坡型, 海拔 600 ~ 1 000 m; 中山陡坡型, 海拔 1 000 ~ 3 500 m; 高山陡坡型, 海拔 3 500 m 以上。从秦岭梁往北, 高度递减, 植被覆盖率亦成递减趋势。在中深山区, 植被覆盖度低, 生态环境良好。

该区域的土壤类型以褐土、棕壤、暗棕壤及高山草甸土为主, 随生物和气候带的变化, 呈明显的垂直带性分布。监测结果表明: 总氮、总磷在暗棕壤(原始森林土)中最高, 分别达到 23.5 mg/kg 和 8.977 mg/kg。其次为棕壤—褐土, 总氮、总磷含量分别为 9.03 mg/kg 和 4.218 5 mg/kg, 棕壤(次生林土)中总磷、总氮含量最低, 分别为 6.58 mg/kg 和 0.917 mg/kg。

收稿日期: 2005-04-20

资助项目: 教育部优秀青年教师教学科研奖励计划(2001—282)

作者简介: 胥彦玲(1977—), 女(汉族), 陕西汉中, 博士研究生, 主要从事生态水文及环境科学方面的研究。电话(029) 82312525, E-mail: yanling7722@126.com。

由于人类对森林资源和矿产资源的开发,农业生产的过度垦殖,流域存在着不同程度的水土流失问题。据黑河水文站监测资料,黑河年输沙量  $2.86 \times 10^5$  t,其 80%集中在 7—9 月。

黑河流域人口稀少、人口素质低,世代栖居于深山老林的乡民以农业耕作为主。由于土壤贫瘠、光照不足,紧紧依靠“广种薄收”来维持口粮。据统计资料,人均耕地  $0.267 \sim 0.333$   $\text{hm}^2$ ,年平均产量  $900$   $\text{kg}/\text{hm}^2$  左右。该流域土地利用类型为:耕地、林业用地、园地、草地、水域、交通、居民用地、工矿用地以及未利用地。

## 1 非点源污染估算方法

### 1.1 非点源污染估算单元的划分

不同的地域单元产生的非点源污染负荷不同,非点源污染负荷的估算应以相对均一的地域单元作为估算单元。为了反映出流域的空间差异,以便较准确地找出非点源污染的关键源区,本研究以流域所辖行政乡为依据,将流域划分为 9 个地域单元进行估算。

### 1.2 土壤侵蚀量估算—专家评判模式

水环境是一个多层次、多目标、多因素影响的复杂控制系统,特别是影响水质的因素错综复杂<sup>[1]</sup>,给资料的选取及定量计算带来了一定的困难。由于资料的缺乏,本研究采用专家评判模式对流域土壤侵蚀量进行估算。为了适应黄土高原侵蚀类型制图与侵蚀强度评判的要求,20 世纪 90 年代初,李钜章等提出了侵蚀强度专家评判模式。认为侵蚀强度是地表物质、植被、降雨、地形和人类活动共同作用的结果。并用式(1)进行估算:

$$P = \frac{4.5}{\frac{1}{G} + \frac{1}{Y} + \frac{1.5}{R} + \frac{1}{L}} + A \quad (1)$$

式中:  $P$ ——侵蚀强度指数;  $G$ ——地表物质可蚀性评分;  $Y$ ——植被盖度评分;  $R$ ——汛期降雨量评分;  $L$ ——沟谷密度与相对高差评分;  $A$ ——人为影响因素。

马俊杰等人<sup>[2]</sup>在此模型的基础上,根据关中中东部研究所收集的资料,在地表物质可蚀性分带分类赋值的前提下,以其它因素的原始量值为背景,建立了关中中东部侵蚀模数与侵蚀因子的关系,建立了如下计算逐步回归的关系:

$$\ln P = 10.45 + 0.811 \ln G + 1.231 \ln Y - 3.433 \ln R_{汛} + 2.514 R_{30} + 1.314 \ln D + 0.135 \ln L \quad (2)$$

式中:  $P$ ——侵蚀强度;  $G$ ——地表物质可蚀性评分;  $Y$ ——植被因子;  $R_{汛}$ ——汛期降雨量;  $R_{30}$ ——最大 30 d 降雨量;  $D$ ——沟谷密度;  $L$ ——坡耕地占耕地比重。

根据流域土地利用、植被覆盖、降雨等资料对侵蚀因子进行了确定,各侵蚀因子的确定参见文献<sup>[2]</sup>,应用式(2)对黑河流域侵蚀模数进行了估算,估算结果见表 1。以各估算单元在全汇流区的面积比重加权,求得全汇流区侵蚀模数为  $291.08$   $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,根据 1978—1993 年水文站实测资料获得多年平均输沙模数为  $267.85$   $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,相对误差 8%,与水保调查(坡面侵蚀模数  $298$   $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ )相对误差为 2.3%,相对误差小于 10%,由此判断该估算结果与实际情况吻合较好。

表 1 黑河水库汇流区土壤侵蚀强度估算因子与估算结果

估算单元	地表物质	植被因子	最大 30 d 雨量/mm	汛期雨量/mm	沟谷密度/ ( $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ )	坡耕地比 重/%	侵蚀模数/ ( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )	面积/ $\text{km}^2$
厚畛子乡	1.8	0.55	278.9	542.3	4.8	49.5	204.58	491.18
板房子乡	1.8	0.45	270.2	521.2	4.6	96.1	174.89	231.90
沙梁子乡	1.8	0.44	261.8	495.1	4.5	89.1	180.25	78.97
安家岐乡	1.9	0.61	259.5	493.2	4.4	95.5	273.47	142.54
小王涧乡	1.9	0.63	252.1	484.0	4.5	100.0	292.52	117.62
双庙子乡	1.9	0.62	245.5	478.2	4.5	99.6	279.50	176.50
陈河乡	2.0	1.15	240.8	485.3	4.2	99.6	515.56	177.61
甘峪湾乡	2.2	1.34	240.9	476.1	4.1	100.0	696.72	59.88
马召乡四村	2.2	5.82	238.5	472.1	4.0	100.0	4128.07	4.80

### 1.3 非点源污染估算模型

水土流失型非点源污染是在土壤侵蚀运移基础上产生的,因此它的主要过程是以侵蚀过程为基础,并在其上耦合进入水体的污染过程<sup>[3]</sup>。因此,在参考相关文献<sup>[4]</sup>的基础上,采用如下负荷模型计算:

$$C_a = A \times Q_a \times \quad \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中:  $C_a$ ——吸 附态非点源污染物流失量 ( $\text{t}/\text{a}$ );  $A$ ——土壤侵蚀量 ( $\text{t}/\text{a}$ );  $Q_a$ ——流失土壤中的氮磷污染物背景含量 ( $\text{mg}/\text{kg}$ ); ——污染物富集比 (无量纲)。

据研究,氮和磷的富积比通常在 1~4 之间变动,而且多数在 2 附近变动 (Haith, 1981),因此,本文选用 2 为富积比。

## 2 结果与分析

### 2.1 吸附态氮磷污染估算结果

通过黑河土地资源利用状况、土壤类型及土壤采

样监测结果分析,并在估算单元内对各土壤类型氮磷含量监测值按面积进行加权平均获得各研究单元土壤背景值。

我们可以应用公式(3)进一步推算出陕西省黑河流域各单元内部固态氮磷污染物含量的估算结果。所选研究区内土壤背景值及吸附态氮磷污染物估算结果如表 2 所示。

表 2 土壤背景值及吸附态氮磷污染估算结果

估算单元	侵蚀量/ ( $10^4 \text{ t a}^{-1}$ )	氮背景值/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	磷背景值/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	吸附态氮 负荷估算/ ( $\text{t a}^{-1}$ )	吸附态磷 负荷估算/ ( $\text{t a}^{-1}$ )	氮污染单 位负荷/ ( $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )	磷污染单 位负荷/ ( $\text{kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )
厚畛子乡	10.05	10.43	3.08	2.09	0.62	4.27	1.26
板房子乡	4.06	7.08	1.59	0.57	0.13	2.48	0.56
沙梁子乡	1.42	7.34	1.94	0.21	0.06	2.64	0.70
安家岐乡	3.90	7.46	2.10	0.58	0.16	4.08	1.15
小王涧乡	3.44	7.18	1.73	0.49	0.12	4.20	1.01
双庙子乡	4.93	7.20	1.75	0.71	0.17	4.02	0.98
陈河乡	9.16	7.27	1.88	1.33	0.34	7.50	1.94
甘峪湾乡	4.17	7.71	2.44	0.64	0.20	10.74	3.40
马召四村	1.98	6.58	0.92	0.26	0.04	54.29	7.59
合计				6.90	1.84		

### 2.2 结果分析

(1) 黑河流域每年向黑河水库输送的吸附态氮约 6.90 t,吸附态磷约 1.84 t。

(2) 从总负荷估算结果看,厚畛子乡和陈河乡对流域吸附态氮磷污染的贡献最大。其原因主要在于厚畛子乡地形处于秦岭中山区—高山区之间,虽然植被覆盖度较高,土壤侵蚀模数较小,但其所占面积较大,使得水土流失总量较大,加之其内的太白山自然保护区属原始森林和高山草甸植被覆盖,土壤类型为暗棕壤,土壤中氮磷背景值较高,所以它对流域的非点源污染贡献较大。对于陈河乡而言,主要是因为植被覆盖较低,坡度大,耕地和荒地所占面积比重大,使得土壤侵蚀模数较大,加之耕地中大量的施肥使土壤中氮磷的背景含量增大,从而造成了流域的较大的侵蚀性非点源污染。

(3) 由氮磷污染单位负荷来看,马召四乡单位污染负荷最大,其次是甘峪湾乡和陈河乡。分析其原因主要是因为这几个乡处于低山和高山区,坡度大,植被覆盖率低,耕地所占面积比例较大,使得土壤侵蚀量及土壤中氮磷的背景含量(耕地大量施肥)较大,造成了流域大量的侵蚀性非点源污染。

(4) 从控制角度来看厚畛子乡、甘峪湾乡、陈河乡和马召 4 村是日后污染控制管理的重点防治对象,必须采取积极、有效的水土保持和环境保护措施,通

过适当改变或切断吸附态氮磷的产生、输移途径,以达到削减其入河量、减轻污染的目的。

## 3 结 论

(1) 黑河流域每年因土壤侵蚀而造成的流域氮污染约 6.9 t,磷 1.84 t,对水体污染较严重,土壤侵蚀型非点源污染的有效控制将极大地改善黑河流域的水质。

(2) 厚畛子乡、陈河乡、甘峪湾乡以及马召乡 4 村是今后非点源污染控制的关键源区。

(3) 黑河流域地处山区,山高沟深,几乎无平坦土地,全为坡地,因此,封山育林、减少耕地及人类扰动、增加植被覆盖度、合理规划土地利用方式是减少土壤侵蚀性非点源污染的主要控制措施。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王西琴,周孝德.渭河(陕西段)水环境质量的现状评价[J].西北大学学报,1999,29(6):620—624.
- [2] 马俊杰,牛建军.黑河水库汇流区土壤侵蚀评判方法研究[J].水土保持通报,2003,23(4):24—27.
- [3] 石辉.水土流失型非点源污染[J].水土保持通报,1997,17(7):99—101.
- [4] 史志华,蔡崇法,丁树文,等.基于GIS的汉江中下游农业面源氮磷负荷研究[J].环境科学学报,2002,22(4):473—477.