

石头口门水库双阳河流域农业非点源污染发生潜力评价

孟 丹^{1,2}, 王 宁³, 刘振峰⁴

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130021; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 东北师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024; 4. 广东省佛山市第三中学, 广东 佛山 528000)

摘 要:以资料收集、实地调查结合 GIS 技术为主要手段,采用农业非点源污染发生潜力(APPI)模型,对石头口门水库双阳河流域 9 个行政区的农业非点源污染发生潜力进行预测和评价,并通过对该流域的农业非点源污染负荷量的估算进行验证。结果表明,流域 9 个行政区中农业非点源污染发生潜力最大的是平湖区,齐家和太平次之,结果与污染负荷量的估算结果基本一致。流域内化肥氮磷排放量为 $9\,512\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 畜禽氮磷排放量为 $30\,731\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 居民氮磷排放量为 $1\,645\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 可见畜禽氮磷排放造成的非点源污染最为严重,占整个非点源污染负荷的 73%,需作为优先控制的对象引起足够的重视。

关键词:双阳河流域;农业非点源污染;APPI 指数;评价

中图分类号:X522 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)04-1421-06

Evaluation on Agricultural Non-point Source Pollution Potential in Shuangyang River Catchment of Shitoukoumen Reservoir

MENG Dan^{1,2}, WANG Ning³, LIU Zhen-feng⁴

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China; 3. College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China; 4. No.3 Middle School of Foshan, Guangdong Province, Foshan 528000, China)

Abstract: The primary issue of effectively controlling and managing agricultural non-point source (NPS) pollution and improving the quality of water is how to identify critical areas and variety of pollutants source. Based on the field experiments, collecting relevant environmental data and analyzing by geographical information system technique, the model of agricultural non-point source pollution potential index (APPI) was applied in nine villages or towns of Shuangyang River catchments in Shitoukoumen Reservoir watershed. The factors of the model include runoff, soil erosion, fertilizer, human and animal loading. With the aid of GIS, the areas of high APPI value are identified as high risk or relatively high risk of agricultural NPS pollution and should be given a particular attention. The result shows that the critical area identified for NPS control was Pinghu, Qijia and Taiping where the APPI is the top three. The nitrogen and phosphorus pollution load was investigated and calculated for the source apportionment analysis and validation of APPI, which is consistent with the identified results basically. The load distribution of the agricultural NPS pollution in Shuangyang catchments is that the sum of the nitrogen and phosphorus pollution discharged from chemical fertilizers is about $9\,512\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, from the livestock is $30\,731\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, from the dwellers is about $1\,645\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$. The nitrogen and phosphorus pollution from livestock occupies 73% of all kinds of pollution, indicating that the nitrogen and phosphorus pollution from livestock was one of the key factors, which should be paid more attention as priority controlling target.

Keywords: Shuangyang River catchments; agricultural non-point source pollution; agricultural non-point source pollution potential index (APPI); evaluation

吉林省石头口门水库是长春市的主要地表饮用水源地,对于长春市人民的生产和生活具有重要的意

义。目前,石头口门水库水质虽然已达到《地表水环境质量标准》GB 3838—2002 中的Ⅲ类标准,但未达到Ⅱ类标准要求,不能满足饮用水水质要求。据长春市环保局监测资料,影响水质状况的主要污染物是总氮、总磷,而其他各项监测指标均符合标准。通过对污染源的实地调查,发现该地区化肥、农药的不合理使用

收稿日期:2008-03-05

基金项目:长春市环保局科研项目(长环保[2003]62号)

作者简介:孟 丹,女,山东省茌平县人,博士生,研究方向为环境影响评价与 GIS 应用。E-mail: meng811@tom.com

通讯作者:王 宁 E-mail: nwang@nenu.edu.cn

以及畜禽粪便、农村生活垃圾和污水等的不合理排放,是造成水环境污染的主要原因,属农业非点源污染。为了及时了解流域内农业非点源污染的现状及其变化,我们以石头口门水库双阳河流域所辖的 9 个行政区为主要调查对象,就农田化肥使用、畜禽粪便排放、居民粪便污染等方面进行了翔实的调查。

由于农业非点源污染在发生上具有随机性,排放途径及排放污染物具有不确定性,污染负荷在时空分布上差异很大,从而导致对其监测、模拟和控制十分困难^[1]。通过地理信息系统及计算机等辅助手段对容易发生非点源污染的地区进行识别,将有限的人财物投入到该地区,是控制非点源污染,改善水环境经济有效的手段^[2]。

目前非点源污染潜在风险区识别应用较多的是营养元素流失敏感性指标体系评价法,该方法是一种参数化方法,其关键是参数的选取及其合理赋值。国内许多学者应用这些方法对太湖^[3~5]、巢湖^[6]、于桥水库^[7]等流域非点源污染潜在风险区识别方面做了一定研究,而用于东北黑土区非点源污染的量化估算方法较少。美国 PENNSYLVANIA 水土资源保护局评价 NPS 发生潜力的方法以及郭红岩等^[3,4]建立的评价农业 NPS 发生潜力的指数系统 APPI (Agricultural Non-point Source Pollution Potential Index)模型参数设置简洁合理,且易搜集整理,充分考虑到自然因素与人为因素对农业非点源污染贡献,本文尝试将此模型应用于石头口门水库双阳河流域,评估该流域各个行政区域农业非点源污染发生潜力,并通过污染负荷量估算验证其合理性,从而明确其来源并初步确定优先控制区域,为双阳河流域农业非点源污染控制提供决策依据。

1 研究区域概况

双阳河小流域位于吉林省中部、长春市石头口门水库以南,东经 125°26′~126°00′,北纬 43°16′~43°56′。东濒饮马河与永吉县隔河相望,南邻磐石市,西接伊通县,北连长春市的南关区和二道区。行政上隶属长春市双阳区 and 二道区。本文所划分的 9 个行政区分别为长春市双阳区 4 个街道办事处(云山、平湖、奢岭、山河),3 个镇(太平、鹿乡、齐家),1 个乡(双营回族乡)以及长春市二道区劝农山镇。

该区域南北为低山丘陵,海拔 300~700 m;中部为河谷盆地,海拔 300 m 左右,由波状起伏的岗地和冲积平原组成。本地区气候属于北温带半湿润大陆性气候,冬季干冷且漫长,夏短而湿热,四季分明,年均

气温为 4.8℃,年均降雨量 619.4 mm,降雨主要集中在 6 至 8 月份,年日照时数 2 532.6 h。土壤类型主要为暗棕壤、黑土、白浆土、草甸土等,土地利用类型以旱地为主。松花江的二级支流双阳河斜穿全境,河的沿岸形成了较大的冲积平原,土质肥沃,是流域内的重点产粮区。

2 资料搜集及评价模型

2.1 资料搜集

通过多种途径收集双阳河小流域农业非点源污染发生潜力的基础数据,包括人口数量、畜禽量、化肥施用量、人畜排放、地形地貌、土壤类型、土地利用方式、产业结构、气象资料、降雨径流、化学物质的输入输出、植被类型、耕作方式等信息。

图件资料主要是 1:10 万的流域地形图、1:25 万的土地利用图和 1:20 万的土壤类型图及政区图。从中提取的主要图层是:政区边界、土壤类型、数字高程、土地利用,如图 1~图 4。

2.2 评价模型——农业非点源污染发生潜力指数(APPI)

根据双阳河流域的实际情况,采用农业非点源污染发生潜力的指数评价方法 APPI 模型^[3~5]来评价该流域农业非点源污染的危险性。选取自然条件的径流指数和泥沙流失指数、人为条件的化肥指数和人畜排放指数作为评价因子,确定 4 个因子的权重,通过加权平均量化流域内各乡镇的农业非点源污染发生潜力。



图 1 评价单元空间分布图

Figure 1 Spatial distribution of evaluation Unit

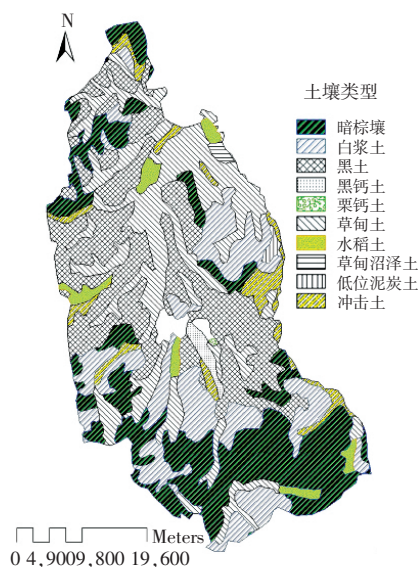


图 2 土壤类型图

Figure 2 Map of soil types

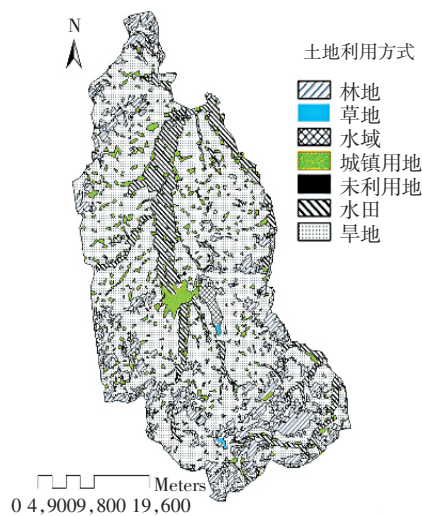


图 4 土地利用类型图

Figure 4 Map of land usage

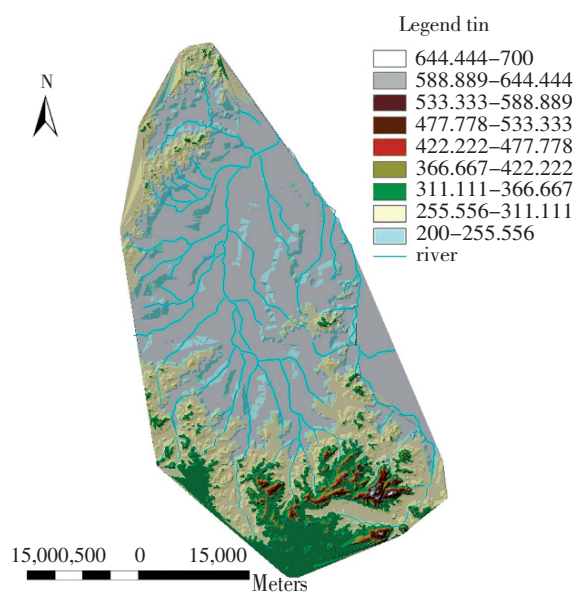


图 3 高程水系图

Figure 3 Topography and water system

3 计算结果及分析

3.1 径流指数(RI)的计算

降雨径流过程是造成农业非点源污染物输出的主要动力,在非点源污染研究中,大多以水文学为基础,重点研究径流的产流汇流特征,揭示农业非点源污染的形成规律。径流模型选择具有代表性的美国水土保持局提出的 SCS^[8,9]法,由于其考虑了下垫面(土壤、植被和人类活动)性质对产流的影响,被广泛用于非点源污染的研究。

由径流公式计算得出的是径流量,为消除不同区

域面积差异对非点源污染潜力指数的干扰,通常多用径流深表征径流状况^[5]。由于长期径流状况优于单次降雨产流对径流状况的反应,结合该区域雨季多集中在夏季,径流指数计算采用 2002 年 6 至 8 月经逐日累加得到的总径流深。

从计算结果可见(表 1),山河、太平、劝农山、齐家和平湖的径流指数高于其他乡镇,这主要是因为山河、太平、劝农山位于双阳河流域的南北两侧,主要地貌类型为山地,故径流指数相应较大;平湖区内有双阳水库,齐家境内有饮马河经过,这些地方均为地表水汇集区,且水库周围缺少植被,饮马河两侧均为水田,对降雨径流的阻截作用很小,因此导致其径流指数明显高于附近地区。

3.2 泥沙流失指数(SPI)

影响泥沙流失指数的参数较多,有降雨侵蚀参数、土壤侵蚀参数、地形参数、植被覆盖参数和管理参数等等。水土流失是非点源污染的一个主要形式,泥沙本身是一种污染物,又可作为其他污染物的载体。泥沙量与氮磷污染物的流失量有一定的相关性,因此,通过计算泥沙的流失量,就可估算氮磷流失量。

“土壤侵蚀”是外来词,“泥沙流失”源于我国,二者既有共性,也有不同。主要差异在泥沙流失中包括了在外营力作用下土地生产力的破坏、损失及迁移,而土壤侵蚀中则没有。显然,泥沙流失涵盖土壤侵蚀^[10]。鉴于土壤侵蚀模数计算模型已很成熟,准确性较高,可用于表示农业非点源污染发生潜力,并遵照原模型^[3-5]选用土壤侵蚀模数(即单位时间单位面积内产生的土

壤侵蚀量,量纲是 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)来表征泥沙流失指数。本人认为此指标应确切地称为“土壤侵蚀指数”,为遵照原模型以下仍沿用泥沙流失指数。

Wischmeier 和 Smith 于 1978 年提出的通用土壤流失方程(USLE)^[11],它为计算特定条件下的长期土壤流失而设计的,它把许多相关联的自然和管理参数各自独立的归入 5 个主要因子,是目前预测土壤侵蚀最广泛使用的方法之一。

通过计算可知(表 1),该区域平均土壤侵蚀模数在 $172.29 \sim 787.59 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ 之间,分布呈南北高、中部低的趋势。从计算结果可见,位于研究区南部的太平乡土壤侵蚀模数最大,其次是与其紧邻的山河和鹿乡,A 值均大于 $500 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$;研究区北部的劝农山排在第 4 位,土壤侵蚀模数为 $494.83 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ 。从地貌类型分析,这 4 个区多为坡度较大的山地,而其余乡镇地势平坦,土壤侵蚀模数均低于 $300 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ 。与该区南北为低山丘陵,中部为河谷盆地的地貌类型关系密切。且研究区面积较小,降雨状况、土壤状况、地表植被覆盖及水保措施状况差别不大,由此可见,地形起伏是影响土壤侵蚀的主导因素。

3.3 化肥使用指数(CUI)

以单位土地面积的化肥使用量表示化肥使用指数(CUI)。双阳河流域人口密度比较大,在现有耕地不断减少的情况下,为了稳定农作物产量,不断加大农业投入,增加施肥量和调整施肥结构成为主要的增产手段。

根据双阳河流域各乡镇统计资料得到流域内各乡镇化肥使用量,计算出 CUI 值。由表 1 可见,双营子、平湖、齐家以及云山的化肥使用指数相对较高,而这几个乡镇的耕地面积占整个镇的面积比例也比较高,说明化肥使用指数 CUI 与各个乡镇的土地利用方式有关,农田占乡镇面积的比例越高,则相应化肥

使用指数也越高。

3.4 人畜排放指数(PALI)

人畜排放指数指的是各个行政区域全年氮磷的人畜排放量与对应行政区域的面积的比值,主要与区域内的人口数、家禽量以及该区域的面积有关。

本流域畜牧业中,大牲畜以牛为主,猪、羊、鹿、鸡的养殖量也很大,不同乡镇的畜禽养殖数量相差较大。为了计算和评价方便,人畜排放量用当量猪的数量来代替,具体的换算比例参考 GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》以及高祥照等人编写的《肥料实用手册》^[12]。

经折算得到流域内各个乡镇人畜排放指数(PALI)(见表 1)。可以看出平湖的 PALI 值显著高于其他乡镇,这主要归因于该区家庭养殖规模较大而政区面积相对较小。

3.5 非点源污染潜力指数(APPI)

据已建立的农业非点源污染发生潜力指数(APPI)模型,在求得各单指数基础上,须对单指数赋予一定的权重,进而求得 APPI 指数。

考虑研究区的地形地貌、土地利用、人口密度、畜禽养殖等因素,参考近几年对本地区农业非点源污染方面的研究,结合专家调查法,确定各指数的权重,见表 2。

表 2 APPI 模型中各指数权重值

Table 2 Weighting factors of the index in APPI model

指数	RI	SPI	CUI	PALI
权重(WF)	0.2	0.3	0.14	0.36

为使评价误差最小,对所求得的各指数进行标准差标准化计算。根据各个指数的标准化结果及各指数权重值,计算得到双阳河流域各乡镇的农业非点源污染发生潜力指数 APPI 值及其排序见表 1。

表 1 各因子指数标准化结果

Table 1 Results of standard factors value, agricultural NPS pollution potential index value and ranks

乡镇名称	土地面积/ km^2	径流指数		泥沙流失指数		化肥使用指数		人畜排放指数		APPI	排序
		RI/mm	Norm	SPI/ $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$	Norm	CUI/ $kg \cdot hm^{-2}$	Norm	PALI/头 $\cdot hm^{-2}$	Norm		
太平	326	23.95	-0.07	787.59	1.84	187.30	-1.31	6.69	-0.60	0.14	3
云山	77	19.14	-1.58	257.84	-0.72	251.50	0.31	8.22	-0.43	-0.64	9
山河	305	25.26	0.34	671.70	1.28	202.30	-0.93	5.98	-0.68	0.08	5
鹿乡	273	23.33	-0.26	517.79	0.54	212.30	-0.68	8.72	-0.37	-0.12	6
平湖	80	29.06	1.53	214.90	-0.93	289.80	1.27	36.44	2.74	1.19	1
双营子	62	20.53	-1.14	172.29	-1.14	310.40	1.79	10.09	-0.22	-0.40	7
齐家	277	28.97	1.50	280.72	-0.62	263.90	0.62	11.93	-0.01	0.20	2
奢岭	282	22.27	-0.60	266.18	-0.68	224.30	-0.38	7.40	-0.52	-0.56	8
劝农山	122	25.08	0.28	494.83	0.42	211.90	-0.69	12.80	0.09	0.12	4

从以上数据可以看出,农业非点源污染发生潜力指数 APPI 值由大到小依次为平湖、齐家、太平、劝农山、山河、鹿乡、双营子、奢岭、云山。由此得出平湖和齐家是点源污染的优先控制区,其次是太平、山河和劝农山。

表 1 显示平湖除泥沙流失指数 SPI 较低外,其他 3 个指标 RI、CUI、PALI 都比较高,尤其是人畜排放指数 PALI 显著高于其他乡镇,这主要是因为平湖位于双阳镇城郊结合部,人口密集,畜禽养殖业比较发达,共计 45 000 头牛,35 000 头猪,1 060 只羊,740 000 只家禽,其中牛的养殖量居首位,家禽养殖量位居第二。

齐家的 APPI 值位居第二,主要是因为境内有双阳河和饮马河通过,地势最低,降雨后极易形成径流汇水区,因此径流指数特别高,RI 值为 1.5;且境内地势平坦,耕地所占比重较大,为 47.5%,致使其化肥使用指数 CUI 比较大。

APPI 高值区其次是太平、劝农山和山河,这 3 个乡镇均位于地势较高、坡度较陡的地区,山地约占整个乡镇面积的 40%,有大量坡耕地。表 1 显示太平、山河和劝农山的 SPI 值分别排在所有乡镇的 1、2、4 位,泥沙流失的指数较高。同时劝农山的径流指数和人畜排放指数也较高,具体情况见图 5。

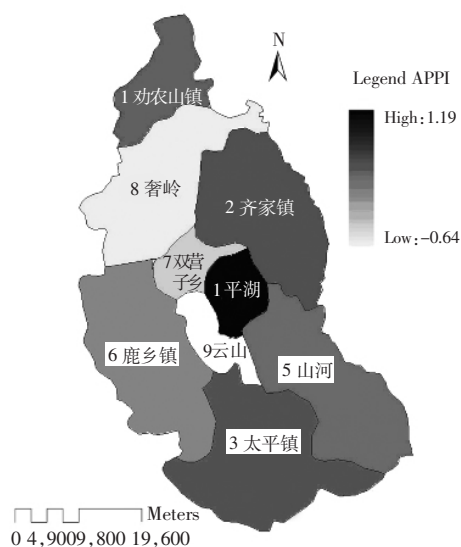


图 5 双阳河流域非点源污染发生潜力示意图

Figure 5 Map of APPI in Shuangyang River Catchment

4 农业非点源污染负荷估算

从 APPI 指数 4 个影响因子的设置可见,APPI 指数主要反映氮磷流失对农业非点源污染发生潜力的贡献。为验证该模型的正确性,分析氮磷污染物主要

来自于化肥使用、畜禽粪便及居民排放,汇总作为流域农业非点源氮磷污染总负荷,各项污染负荷计算方法及结果如下。

4.1 化肥污染负荷估算

实地调查本区的化肥使用情况,单位耕地面积的化肥施用量相差不大,根据各乡镇土地利用状况及化肥组成成分,估算出化肥的氮磷污染负荷。

4.2 畜禽粪便污染负荷估算

畜禽粪便氮磷污染负荷估算依据流域内畜禽粪尿排放量及畜禽粪尿中氮磷的含量。调查流域内各畜禽养殖场和散养农户,参考国内外分析测试的结果,确定各类畜禽日产粪尿量及粪尿中氮磷的含量,再依据畜禽数量及平均饲养期,最终计算畜禽氮磷污染排放量。

4.3 居民污染负荷估算

本论文主要考虑居民粪便产生的氮磷污染负荷,参考《肥料实用手册》^[12]中成年人年粪尿排放量及氮磷含量,根据各乡镇人口数计算得出居民氮磷排放量。

4.4 农业非点源污染负荷量统计

汇总化肥污染负荷、畜禽粪便污染负荷、居民污染负荷作为流域农业非点源氮磷污染总负荷,并根据各乡镇面积计算出单位面积污染负荷,计算结果见表 3。

表 3 可见,单位面积污染负荷排序与前面用 APPI 模型计算农业非点源污染发生潜力结果较一致。平湖同样居于首位,其单位面积污染负荷远高于其余乡镇,其次齐家、劝农山、双营子的污染负荷也比较大。

对双阳河流域 3 种非点源污染负荷所占比例分析,整个流域化肥氮磷排放量为 $9\,512\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,畜禽氮磷排放量为 $30\,731\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,居民氮磷排放量为 $1\,645\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,禽畜的氮磷排放比重最大,约占 73%,说明畜禽养殖是造成该区域农业非点源污染的重要原因之一,因而在对农业非点源污染控制过程中,应以畜禽污染控制为重点,集中收集,合理利用,变废为宝。

5 结论

本论文采用 APPI 模型评价了石头口门水库双阳河流域农业非点源污染的发生潜力,并通过汇总流域内化肥、畜禽和居民 3 种不同类型的非点源污染氮磷负荷来验证,依据流域内各乡镇的 APPI 值和污染负荷估算量确定本流域内容易发生农业非点源污染的区域及污染主要来源。主要结论如下:

(1) 根据所求得的双阳河流域内各乡镇 APPI 值,绘成该流域非点源污染发生潜力示意图。平湖、齐家、

表 3 双阳河流域各类型农业非点源污染负荷量

Table 3 Agriculture NPS pollution load from different sources in Shuangyang River Catchment

乡镇名称	化肥氮磷排放/t·a ⁻¹	畜禽氮磷排放/t·a ⁻¹	居民氮磷排放/t·a ⁻¹	合计/t·a ⁻¹	单位面积负荷/t·km ⁻²	排序
太平	1 434.25	3 895.88	189.57	5 519.7	16.931 6	8
云山	455.18	897.88	228.07	1 581.13	20.534 16	6
山河	1 449.63	3 132.37	211.66	4 793.66	15.716 92	9
鹿乡	1 364.62	4 300.7	194.87	5 860.19	21.465 9	5
平湖	546.06	4 939.23	268.62	5 753.91	71.923 88	1
双营子	452.05	1 117.22	57.16	1 626.43	26.232 74	4
齐家	1 717.18	6 146.39	211.66	8 075.23	29.152 45	2
奢岭	1 486.14	3 557.02	204.16	5 247.32	18.607 52	7
劝农山	607.34	2 744.13	79.39	3 430.86	28.121 8	3
合计	9 512.45	30 730.82	1 645.16	41 888.43		

太平、劝农山和山河是非点源污染发生潜力指数较大的区域,为农业非点源污染治理的重点乡镇,应加大治理力度。

(2)通过对该流域的农业非点源污染负荷量的估算来验证 APPI 模型,结论是:流域内平湖、齐家、劝农山、双营子的非点源污染负荷量比较大,与用 APPI 模型计算结果相吻合,从而验证该模型在东北黑土区的适用性。

(3)从全流域非点源污染负荷来源分析可见,畜禽粪尿排放造成的非点源污染最为严重,占非点源污染总负荷的 73%。

最后,对计算得到流域非点源污染发生潜力 APPI 值大的乡镇,建议相关部门因地制宜地采取非点源污染控制管理措施,包括水土保持措施、合理施肥、提高人畜粪尿利用率和畜禽养殖集约化等。除此之外,还应借助相应的法规、政策、行政、经济和宣传教育等管理手段保证非点源污染控制技术的落实。

参考文献:

[1] 付永锋,陈文辉,赵基花. 非点源污染的研究进展与前景展望[J]. 山西水利科技, 2003, 3:32-35.
FU Yong-feng, CHEN Wen-hui, ZHAO Ji-hua, et al. Progress and prospect of non-point pollution research[J]. *Shanxi Hydrotechnics*, 2003, 3:32-35.
[2] 李海雯,陈振楼,王 军,等. 基于 GIS 的水环境非点源污染模型研究[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(3):62-66.
LI Hai-wen, CHEN Zhen-lou, WANG Jun, et al. Research on nonpoint sources pollution model based on GIS[J]. *Environmental Science and Management*, 2007, 32(3):62-66.
[3] Guo H Y, Wang X R, Zhu J G. Quantification and index of non point sources pollution of Taihu Lake Region with GIS[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2004, 26: 147-156.
[4] Guo H Y, Zhu J G, Wang X R, et al. Case study on nitrogen and phos-

phorus emission from paddy field in Taihu region[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2004, 26:209- 219.
[5] 周徐海,王 宁,郭红岩,等. 农业非点源污染潜力指数系统(APPI)在太湖典型区域的应用[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4):1029-1034.
ZHOU Xu-hai, WANG Ning, GUO Hong-yan, et al. Preliminary application of agricultural non-point source pollution potential index in typical area of Taihu lake[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2006, 25(4): 1029-1034.
[6] 胡连伍,王学军,罗定贵,等. 基于 GIS 的流域非点源污染潜在风险区识别[J]. 水土保持通报, 2007, 27(3):107-115.
HU Lian-wu, WANG Xue-jun, LUO Ding-gui, et al. GIS based identification of potential risk areas of non-point source pollution in Hangbu-Fengle watershed[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2007, 27(3):107-115.
[7] 张淑荣,陈利顶,傅伯杰. 农业区非点源污染潜在危险性评价——以于桥水库流域磷流失为例[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3):262-269.
ZHANG Shu-rong, CHEN Li-ding, FU Bo-jie. The risk assessment of nonpoint pollution of phosphorus from agricultural lands:a case study of Yuqiao Reservoir watershed[J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3): 262-269.
[8] Soil Conservation Service. “Hydrology.” SCS National Engineering Handbook[M]. US Department of Agriculture, Washington C, 1964.Science 4, Chapter 10.
[9] Bosznay M. Generalization of SCS curve numeber method[J]. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1989, 155(1): 139-144.
[10] 郝竹青. 水力侵蚀地区土壤侵蚀与水土流失解析及启示[J]. 水利天地, 2004, 12:30-31.
HAO Zhu-qing. The explanation and enlightenment of soil erosion and soil & water loss in hydraulic power region [J]. *Water Conservancy World*, 2004, 12:30-31.
[11] Wischmeier W H, et al. A soil erodibility nomograph farm land and construction sites[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1971, 26: 189-193.
[12] 高祥照,等. 肥料实用手册[M]. 北京:中国农业出版社, 2002.
GAO Xiang-zhao. Fertilizer practicality manual[M]. China Agriculture Press, 2002.