

基于GIS的尼洋河流域农业面源污染负荷分布特征

郝守宁¹, 宗永臣¹, 董飞^{2*}

(1. 西藏农牧学院, 西藏 林芝 860000; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要:【目的】揭示尼洋河流域农业面源污染的现状特征, 探明其首要污染源和关键污染区。【方法】采用输出系数模型中农村生活污水、农田化肥流失、畜禽养殖流失污染模型3个模块, 基于林芝市2014年的农业统计资料, 从水文、地形和行政区划3个角度, 对尼洋河流域农业面源污染强度进行了估算和空间分析, 并分析了COD、总磷、总氮、氨氮的污染负荷空间分布特征。【结果】4类污染物输出负荷量最大的区域为中游左控制单元; 4类污染物负荷强度最大为下游左、右控制单元; 畜禽养殖流失污染源是尼洋河流域首要污染源。【结论】尼洋河流域中游左岸是今后流域防治的主要对象, 畜禽养殖流失污染源是主要的控制对象。

关键词: 输出系数法; 农业面源污染; GIS; 尼洋河; 分布特征

中图分类号: X32

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2017.0348

郝守宁, 宗永臣, 董飞. 基于GIS的尼洋河流域农业面源污染负荷分布特征[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(7): 106-111.

0 引言

农业面源污染是引起水体富营养化的主要污染源^[1], 欧洲农业排放的总氮(TN)、总磷(TP)是引起河流与海洋污染的主要污染源^[2-4], 美国农业活动所造成的河流污染占受污染河流的59%左右^[5]。根据2010年2月的全国污染源普查公报^[6]数据, 全国各污染物排放总量中农业污染源中所排放的COD、TP、TN的贡献率分别为44%、67%和57%, 是中国水环境的主要污染源。如阿哈水库^[7]、官厅水库^[8]、长江流域^[9]、巢湖、滇池及三峡库区^[10]等都受面源污染的严重威胁。因此, 进行农业污染源的解析、污染负荷的计算和空间识别是控制农业污染的关键, 同时对流域内农业面源污染的治理及水环境保护具有重要的参考意义。近年来, 许多国内外的学者对流域农业面源污染进行了相关的研究和探讨, 面源污染负荷主要的估算方法包括监测法^[11]、输出系数法^[12-13]、排污系数法^[14]以及模型法^[15]等, 估算模型的选定一般取决于研究区域所搜集资料的完整程度。其中输出系数模型所需参数较少、应用性强, 特别是在缺乏长时间序列监测资料的研究区内采用^[16]。输出系数模型是在土地利用-营养负荷-湖泊富营养化关系研究中提出的, 操作简便, 又具有一定的精度, 能够借助土地利用状况等资料, 是一种集中核算面源污染负荷的方法, 国内很多学者利用输出系数模型对太湖、三峡库区、重庆、沙颍河、扬子江、北京等地区开展了农业面源污染负荷研究, 且估算成果得到了较好的验证。本研究以输出系数模型为基础, 通过实地调查和资料搜集, 借助GIS空间可视化及水文分区功能对尼洋河不同河段进行控制单元的划分, 利用各控制单元与尼洋河流域县级行政区进行耦合, 建立2014年尼洋河流域农业面源污染估算数据库, 从时空角度分析尼洋河流域农业面源污染的分布特征, 为尼洋河不同河段的水污染防治提供科学的参考依据。

1 材料及方法

1.1 研究区概况

尼洋河流域位于雅鲁藏布江左岸, 发源于拉纳山、俄拉等一系列山峰环抱的湖盆地带, 源头海拔5 000 m,

收稿日期: 2017-06-13

基金项目: 西藏自治区高等学校科研创新团队“高原水环境保护与生态安全”; 国家自然科学基金项目(51769034, 51409269)

作者简介: 郝守宁(1986-), 男, 河南滑县人。讲师, 主要从事流域水资源管理与保护研究。E-mail: 645427848@qq.com

通信作者: 董飞(1983-), 男。主要从事流域容量总量控制理论与方法等研究。E-mail: dongfei99999@163.com

自西向东流经工布江达县、八一镇、林芝县,在林芝市的鲁定村附近汇入雅鲁藏布江。其流域面积17 815 km²,居雅鲁藏布江各支流中的第4位。尼洋河全长309.02 km,上游河段长125 km,自河源至工布江达;工布江达至八一镇为中游段,河长125 km;八一镇至河口为下游段,河长36 km。

1.2 数据来源

本研究以尼洋河流域农业面源污染的农村生活污水、农田化肥流失、畜禽养殖流失污染模型3个模块为研究对象,空间上从行政区划、地形地貌及水文等3个角度展开,以2014年为基准年,通过查阅文献资料和现场勘察的方式收集尼洋河流域与农业面源污染源相关的原始数据资料,所搜集资料包括属性数据和空间数据^[17]2类,详见表1。

表1 基础数据

数据类型		数据来源
属性数据	人口	《林芝市统计年鉴2015》
	土地利用类型	《林芝市统计年鉴2015》
	畜禽存栏数	《林芝市统计年鉴2015》
空间数据	DEM	中国科学院地理科学与自然资源研究所
	县级行政区矢量数据shp格式	中国科学院地理科学与自然资源研究所

1.3 污染源产排特征分析方法

1.3.1 面源污染产排估算模型

采用输出系数法对流域农业面源污染负荷进行估算,流域面源污染源由农村生活污水、农田化肥流失、畜禽养殖流失3个模块构成。各模块估算中不同的土地利用状况、农村人畜数量、化肥使用量以及作物种植方式,会导致选用不同的输出系数;对牲畜的输出系数选用依据其种类、数量和分布情况进行确定;对人口输出系数则主要依据生活污水的排放和处理状况进行选定。对于土壤截留、面积不大及河流自净影响较小的流域,在估算流域年负荷量时往往忽略流域损失影响,不考虑流域流失系数^[18]。输出系数模型函数计算式为:

$$L=\alpha\cdot\sum E_i[A_i\times(I_i)]+P\quad L_j=\alpha\cdot\sum_{i=1}^nE_{ij}A_i+P,$$
 (1)

式中: L_j 为污染物 j 的总流失量(g); α 为降雨影响因子,研究区域内降雨量影响系数; n 为流域中土地利用类型的种类或者人口、牲畜; E_{ij} 为污染物 j 在第 i 种土地利用类型中的输出系数(g/hm²),或第 i 种牲畜、人口的输出系数(g/a); A_i 为第 i 类土地利用类型的面积(hm²),或人口(人)、牲畜(头)的数量; P 为降雨输入的污染物总量(g/(hm²·d)),本次研究未考虑此项的影响。

1.3.2 农村生活污水

农村污水一般多采用化粪池进行收集和处理,作为农家肥使用,故此估算中的参数均采用化粪池处理后的排放系数^[19]。根据《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》中的分区以及城镇生活污染源污染物排放系数,结合流域内农村生活习惯、生活水平、污水处理措施等特点进行相应的系数调整,调整后的排放系数见表2。

表2 农村生活污水排放系数

				g/d
污染物	COD	NH ₃ -N	TN	TP
排放系数	39.20	5.84	7.52	0.58

1.3.3 农田化肥流失

农业种植习惯、降雨、地形等因素导致不同区域的农田化肥流失存在较大的差异^[20-21]。本研究通过查询文献数据库、研究报告等,结合研究区域的相关农田径流监测数据,参考《第一次全国污染源普查农业污染源肥料流失系数手册》的研究成果,建立农田化肥流失负荷估算模型。估算过程中,综合考虑流域主要耕地类型、种植类型、耕作方式、土壤类型、地形地貌对参数选择的影响,对参数进行了调整,具体见表3。

表3 农田化肥流失系数

				%
土地类型	NH ₃ -N	TN	TP	
耕地	0.228	0.421	0.069	
草地	0.324	0.598	0.052	
菜地	0.232	0.488	0.024	

1.3.4 畜禽养殖流失

依据畜禽污染物排泄系数及畜禽粪便处理状况估算畜禽养殖污染物流失量^[22-24]。由上海环保局(2000)对集约化畜禽养殖场污染情况的调查结果及国家环保总局在2000年面向全国23个省、自治区、直辖市规模化畜禽养殖业污染情况调查结果,得到畜禽养殖流失参数见表4。

表4 畜禽粪便流失率 %

污染物	牛粪	猪粪	羊粪	家禽粪
TP	5.5	5.25	5.2	8.42
TN	5.68	5.34	5.3	8.47
NH ₃ -N	2.22	3.04	4.10	4.15
COD	6.16	5.58	5.50	8.59

1.4 面源污染空间分布的研究方法

从水文、地貌、行政区划3个角度,借助Arc-GIS10.0软件的数据分析与管理功能^[25],利用空间数据及农业面源污染负荷计算成果对流域内污染物的空间分布状况进行研究。利用ArcGIS软件中的水文分析模块对空间数据进行处理,确定流域边界、提取流域河网、分割出子流域,研究区内水资源丰富河网较为密集,通过对流域内河网及子流域的分析得到尼洋河主河道不同河段对应的汇水区面积差别较大,不同汇水区内农业面源污染物通过降雨径流迁移到对应的主河道,从而导致不同河段内水环境受到不同污染负荷的影响,按照河段水环境与对应汇水区内污染物的响应关系即水陆结合方法,基于研究区内DEM结合尼洋河干流的上、中、下游河段的划分将尼洋河流域划分为5个汇水区即尼洋河主河道对应的5个控制单元:分别为上游控制单元、中游左控制单元、中游右控制单元、下游左控制单元和下游右控制单元。为了更好地研究流域面源污染的空间分布特性,将输出系数模型研究的结果添加到各行政区划图的属性列表中,同时将流域5个控制单元与行政区进行耦合,如图1所示。由于流域内牲畜、人口数量及土地利用类型状况等数据按照行政区进行统计,利用控制单元与行政区嵌套耦合的面积比例来确定各控制单元内不同类污染物负荷量,实现农业面源污染物COD、总磷、总氮、氨氮空间排放强度分布的可视化表达。

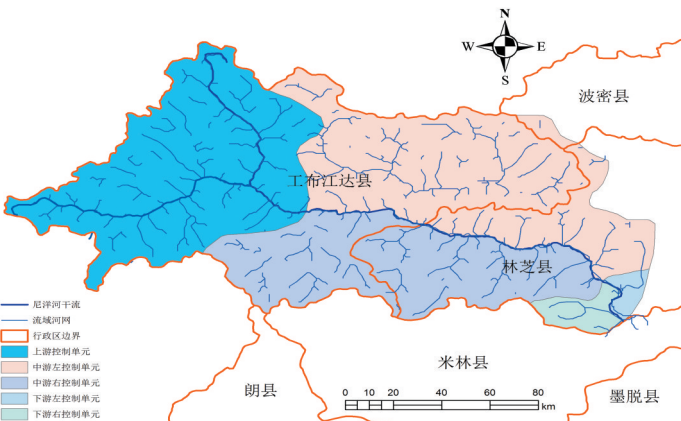


图1 尼洋河流域水文、行政区图

2 结果与分析

2.1 流域内污染物负荷分析

依据3个模块污染负荷输出模型,得到2014年尼洋河流域污染物负荷输出量,结果如表5所示。2014年尼洋河流域农业面源污染物COD年负荷输出量为13 703.49 t;污染物总磷、总氮和氨氮年负荷输出量分别为121.32、1 463.37、279.02 t。流域内农业面源污染COD、总氮、氨氮年负荷输出量最大的污染源都来自畜禽养殖流失,分别约占整个流域的农业面源污染COD、总氮、氨氮年总输出量的96%、56%、50%;总磷年负荷输出量最大的污染源来自农田化肥流失,为80.55 t,约占整个流域的农业面源污染总磷总输出量的66%。农业面源污染的3个模块研究结果表明,COD年负荷输出量表现为畜禽养殖流失>农村生活污水;总磷年负荷输出量表现为农田化肥流失>畜禽养殖流失>农村生活污水;总氮年负荷输出量表现为畜禽养殖流失>农田化肥流失>农村生活污水;氨氮年负荷输出量表现为畜禽养殖流失>农村生活污水>农田化肥流失。综上可知,畜禽养殖污染是最重要的农业面源污染源,随着畜禽养殖业的发展,其排放的污染物将成为影响尼洋河流域水环境的主要因素,应重点加强对畜禽养殖污染的综合治理。

表5 尼洋河流域不同污染源 COD、总氮、总磷、氨氮流失量 t

污染物	农村生活	畜禽养殖	农田化肥	总负荷
COD	583.36	13 120.12	-	13 703.49
TP	8.29	32.48	80.55	121.32
TN	107.52	818.39	537.45	1 463.37
NH ₃ -N	85.79	140.56	52.67	279.02

2.2 污染物空间分布特征

农业面源污染负荷的产排与研究区土地利用的类型、农村人口及畜禽数量的分布、化肥使用量等密切相关,因此,农业面源污染负荷的产排具有很强的空间性。本研究借助ArcGIS空间分析平台,以流域内5个控制单元与行政区嵌套耦合的面积作为中介,在各行政区面源污染负荷计算成果的基础上对流域5个控制单元内的污染负荷状况进行分析计算。各控制单元内污染物负荷计算结果见表6。控制单元内污染物负荷量的大小不能代表其污染程度,为了更直观地显现流域内污染负荷的空间分布特性,将5个控制单元内的COD、总磷、总氮、氨氮负荷量进行污染区划分析各控制单元的负荷强度,结果如图2所示。

伴随西部大开发与新农村建设的逐步实施,尼洋河流域内的生活污水排放量逐年增加,且沿河各乡镇排污口也极其简陋,污水未经处理直接排入河流水体中,加之流域内农业生产水平低下,畜禽养殖量逐年增加,导致流域内面源污染物排放量呈急速上升的趋势,尼洋河水环境危机对林芝市的区域经济发展的制约越来越明显,故对尼洋河流域内农业面源污染的控制是保障流域经济可持续发展的必经之路。结合各控制单元内COD、总磷、总氮、氨氮的负荷量,对尼洋河流域的污染物进行空间负荷分析。

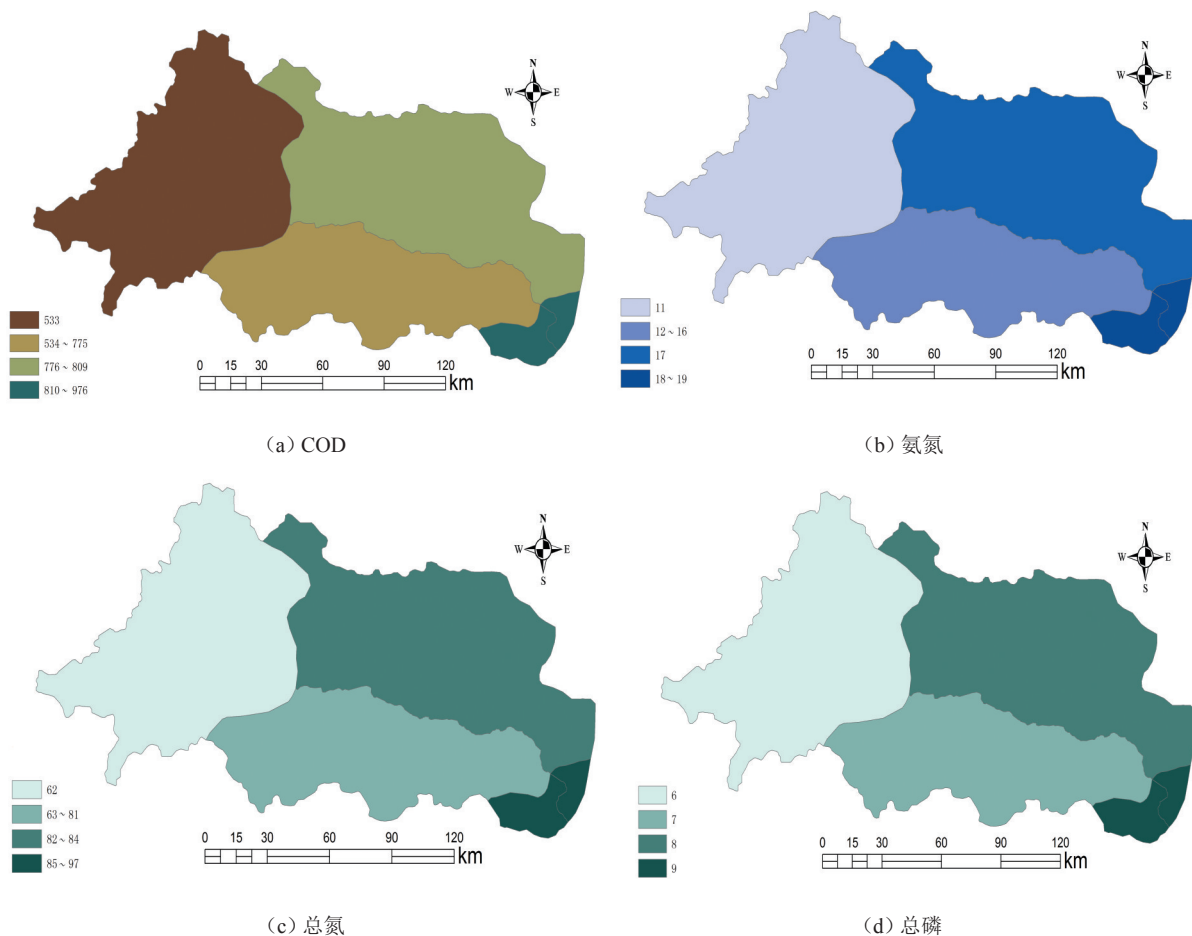


图2 尼洋河流域各控制单元污染强度的空间分布(单位:kg/hm²)

表6 尼洋河流域各控制单元内污染物负荷量

控制单元	COD	TP	TN	NH ₃ -N	t
上游控制单元	3 633.82	40.88	423.02	77.95	
中游左控制单元	5 568.04	44.31	574.58	111.11	
中游右控制单元	3 804.76	31.35	396.92	76.41	
下游左控制单元	228.39	1.57	22.56	4.44	
下游右控制单元	468.48	3.22	46.29	9.12	

由表6及图2可知,1)尼洋河上游:上游面源污染所输出的4类污染物COD、总磷、总氮及氨氮的负荷量小于中游负荷量平均值,大于下游负荷量;其负荷强度分别为530、6.1、62.1、11.4 kg/km²,负荷强度更能直观地表现尼洋河流域空间污染状况。上游的负荷量虽大但负荷强度远小于中游和下游的负荷强度;其原因

为:尼洋河上游面积较为空旷,但受地形地貌的影响,居住人口较少,从而导致该区域受人类活动影响较小,污染程度较低。

2)尼洋河中游:中游面源污染所输出的4类污染物COD、总磷、总氮和氨氮的负荷量平均值远大于上游及下游的负荷量平均值;中游4类污染物COD、总磷、总氮及氨氮的负荷强度分别为794、6.4、82.4、15.9 kg/km²,大于上游的负荷强度而小于下游的负荷强度;中游左控制单元内4类污染物COD、总磷、总氮和氨氮的负荷量及负荷强度都大于中游右控制单元;其原因为中游面积远大于上游及下游,是流域内人口主要居住区域,中游左控制单元面积大于右控制单元,且中游左岸地势较右岸平坦,居住人口及耕地多分布在中游左岸。

3)尼洋河下游:下游面源污染所输出的4类污染物COD、总磷、总氮和氨氮的总负荷量小于上游及中游的负荷量;但其负荷强度分别为976、6.7、96.8、18.9 kg/km²,远超过中游和上游的负荷强度;下游左、右控制单元内4类污染物COD、总磷、总氮及氨氮的负荷强度接近下游的平均值;其原因为下游面积较小,河道较短,最后交汇于雅鲁藏布江,且下游段内地势平坦,雨量充沛,海拔较低,是典型的江南气候,区内人口及耕地分布较为密集,畜牧业发达,从而导致污染负荷量高于其他区域。

尼洋河流域内,从上中下游的角度分析,COD、总磷、总氮、氨氮各类污染物总量负荷输出最大的区域为中游,故中游是日后治理的主要区域;从流域的5个控制单元分析:COD负荷量最大的区域为中游左控制单元,其负荷强度最大的区域为下游的左、右控制单元;总磷负荷量最大的区域为中游左控制单元,其负荷强度最大的区域为下游的左、右控制单元;总氮负荷量最大的区域为中游左控制单元,其负荷强度最大的区域为下游的左、右控制单元;氨氮负荷量最大的区域为中游左控制单元,其负荷强度最大的区域为下游的左、右控制单元。污染物的负荷强度是尼洋河流域空间污染程度的直观表现,尼洋河中游左、右控制单元污染物负荷量虽然较大,但污染物负荷强度不及下游左、右控制单元,由此可见尼洋河下游是污染最为严重的区域。

3 结 论

兹利用输出系数模型结合 ArcGIS 技术对尼洋河流域内的农业面源污染物 COD、总磷、总氮及氨氮年输出负荷进行了估算和空间分析。结果表明,2014 年尼洋河流域内 COD、总磷、总氮及氨氮 4 类污染物年负荷输出分别为 13 703.49、121.32、1 463.37、279.02 t;从空间上来看中游为农业面源污染物年输出负荷最大的区域;从污染物负荷强度分析,COD、总磷、总氮及氨氮负荷强度最大的区域为下游,故尼洋河下游是农业面源污染最为严重的区域;从污染源的角度分析:畜禽养殖流失是流域内污染物的主要来源,受当地社会发展影响,流域内农业生产方式相对落后,农牧民对农业面源污染的危害认识不够,对畜禽粪便处理较为原始,缺乏科学的配套处理措施;因此,应合理规划畜禽养殖区域和规模,优化农业种植结构,科学施肥,减少化肥的流失,健全农村污染处理措施,提高农民环保意识,从而有效地改善研究区内农业面源污染现状,保护流域的生态环境。

输出系数模型估算与 ArcGIS 软件的结合对尼洋河流域农业面源污染负荷输出进行了较好地空间模拟,为研究区域的农业面源污染防治提供了一定科学依据。本研究中污染源只考虑了农村生活、农田化肥、畜禽养殖 3 类污染源,未考虑农药、农膜和农村生活垃圾等污染源,且研究区内水资源较为丰富,河网密集,但缺乏农村水质监测数据,未能将区内农村水质监测评价成果与农业面源污染排放进行响应分析。因此,今后的农业面源污染时空特征研究应与社会经济、人类活动以及水质监测分析成果等因素结合起来,建立起基于流域时空尺度的农业面源污染与农村水质监测的动态响应系统,从而深入分析各类污染源的时空特征,完善农业面源污染问题的研究体系。

参考文献:

- [1] 宋家永,李英涛,宋宇,等.农业面源污染的研究进展[J].中国农学通报,2010,26(11):362-365.
- [2] ONGLEY E D, ZHANG Xiaolan, YU Tao. Current status of agricultural and rural non-point source Pollution assessment in China[J]. Environmental Pollution, 2010, 158(5):1 159-1 168.
- [3] 苑韶峰,吕军.流域农业非点源污染研究概况[J].土壤通报,2004,35(4):507-511.
- [4] DENNIS L, CORWIN K. Non-point pollution modeling based on GIS[J]. Soil and Water Conservation, 1998, 1: 75-88.
- [5] 侯彦林,周永娟,李红英,等.中国农田氮面源污染研究: I 污染类型区划和分省污染现状分析[J].农业环境科学学报,2008,27(4):1 271-1 276.
- [6] 胡芸芸,王永东,李延轩,等.沱江流域农业面源污染排放特征解析[J].中国农业科学,2015,48(18):3 654-3 665.

- [7] 刘鸿雁, 王龙飞, 罗梅, 等. 贵阳市阿哈水库农业面源污染调查与分析[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(9): 235-239.
- [8] 马登军, 张凤娥, 高云霞, 等. 官厅水库富营养化的评价[J]. 中国环境监测, 2002(7): 41.
- [9] 马广文, 王业耀, 香宝, 等. 长江上游流域土地利用对面源污染影响及其差异[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(4): 791-797.
- [10] 余炜敏, 魏朝富, 谢德体. 太湖流域与长江三峡库区农业非点源污染对比研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 115-118.
- [11] 汪太明, 王业耀, 刘玉萍, 等. 东北地区春季融雪期非点源污染负荷估算方法及应用[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(4): 807-812.
- [12] 张立坤, 香宝, 胡钰, 等. 基于输出系数模型的呼兰河流域非点源污染输出风险分析[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(1): 148-154.
- [13] REWAIT Niraula, LATIF Kalin, PUNEET Srivastava, et al. Identifying critical source areas of nonpoint source pollution with SWAT and GWLF[J]. Ecological Modelling, 2013, 268: 123-133.
- [14] 董红敏, 朱志平, 黄宏坤, 等. 畜禽养殖业产污系数和排污系数计算方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 303-308.
- [15] SHEN Zhenyao, QIU Jiali, HONG Qian, et al. Simulation of spatial and temporal distributions of non-point source pollution load in the Three Gorges Reservoir Region[J]. Science of the Total Environment, 2014, 493: 138-146.
- [16] 应兰兰, 侯西勇, 路晓, 等. 我国非点源污染研究中输出系数问题[J]. 水资源与水工程学报, 2010(6): 90-95, 99.
- [17] 烟贯发, 张思冲, 齐少群, 等. 基于 RS 和 GIS 技术的松花江哈尔滨段流域面源污染特征分析[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(3): 91-98.
- [18] 郝峰, 苏馈足, 康加廷, 等. 基于改进输出系数法的矿区重金属面源污染负荷核算模型[J]. 环境科学研究, 2012(2): 207-211.
- [19] 姚锡良. 农村非点源污染负荷核算研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [20] 李思思, 张亮, 杜耘, 等. 面源磷负荷改进输出系数模型及其应用[J]. 长江流域资源与环境, 2014(9): 1330-1336.
- [21] 朱立安, 王继增, 胡耀国, 等. 畜禽养殖非点源污染及其生态控制[J]. 水土保持通报, 2005(2): 40-43.
- [22] 郝守宁, 彭文启, 吴文强, 等. 沙颍河流域面源污染负荷空间分布特征研究[J]. 人民长江, 2014(17): 6-9.
- [23] 张辰, 陆建忠, 陈晓玲. 基于输出系数模型的云南洱海流域农业非点源污染研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2017(1): 108-114.
- [24] 周跃龙, 汪怀建, 余辉, 等. 应用输出系数模型对太湖流域面源污染负荷测算研究[J]. 江西农业大学学报, 2014(3): 678-683.
- [25] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 第2版. 北京: 科学出版社, 2013: 140-142.

Using GIS to Analyze Spatial Distribution of Contaminants Emanating from Nonpoint Pollution Source in Niyang River Basin

HAO Shouning¹, ZONG Yongchen¹, DONG Fei^{2*}

(1. Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Nyingchi 860000, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: 【Objective】 Environmental pollution caused by contaminants emanating from nonpoint sources in agricultural fields is an increased concern and the purpose of this paper is to take Niyang River Basin as an example, analysing its pollution sources and contaminants spreading. 【Method】 Based on the origin of the pollutants, we divided their sources into three components: a domestic waste compartment, a fertilizer leaching compartment, and a livestock waste compartment. Using geographical information system (GIS) and statistical analysis of the agricultural data available in 2015, we examined the spatiotemporal variation of COD, total phosphorus, total nitrogen and ammonium in the basin. 【Result】 Pollution caused by the four contaminants was the most serious in the left control unit at the midstream, as well as the right and left control units at the downstream in the basin. Leaking from livestock waste was the key pollutant source. 【Conclusion】 Remediation aimed at ameliorating the nonpoint pollution should focus on the left sides at the midstream of the basin by reducing the leaking of the livestock wastes

Key words: output-coefficient method; agricultural non-point source pollution; GIS; Niyang River; distribution characteristics

责任编辑: 赵宇龙