

DPeRS 模型在重点流域面源污染优控单元划分中的应用

——以吉林省为例

王 谦¹ 冯爱萍² 于学谦³ 姚延娟² 王洪亮⁴ 王雪蕾²

(1. 环境保护部, 北京 100035; 2. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094;

3. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 4. 北京吉威时代软件股份有限公司, 北京 100043)

【摘要】“十二五”期间, 环保部开展了水污染防治分区管理工作, 结合水质目标划定了控制单元, 2015年《水污染防治行动计划》的颁布, 对重点流域水质目标提出新要求, 同时对重点流域的控制单元管理提出新要求。在“十二五”分区基础上, 结合水质管理目标和保证乡镇完整性的情况下, 继续对控制单元进行细化, 最终形成了我国1784个控制单元, 然而如何实现控制单元的分级分类管理是个重点也是难点, 尤其优先控制单元的划分是流域水环境精细化管理的关键。本文以遥感分布式面源污染模型—DPeRS(Diffuse pollution estimation with remote sensing)模型为工具, 以吉林省控制单元为例, 从流域面源污染角度探讨优先控制单元的划分科学方法, 为实现流域科学管理提供技术支撑。研究表明: 1) 吉林省面源污染物以TN和COD_{Cr}为主, 2014年产生TN 2.4万t, 进入水体6384t; COD_{Cr} 2.2万t, 进入水体4552t; 2) 空间分布上, TN、TP、NH₄⁺-N和COD_{Cr}面源污染物主要集中在吉林省西北部地区; 3) 氮型和磷型面源污染主要来源为农田耕作, 化学需氧量面源污染源主要为畜禽养殖; 4) 吉林省48个控制单元中优控单元共21个, 其中一类优先控制单元8个即污染物产生量和污染物入河量均较大的区域, 二类优控单元13个, 包括8个源头控制单元和5个入河过程控制单元。

【关键词】DPeRS模型; 面源污染; 优控单元; 吉林省

中图分类号: X21 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2016)04-0111-05

1 引言

“十二五”期间, 环保部开展了水污染防治分区管理工作, 结合水质目标划定了控制单元。2015年《水污染防治行动计划》(“水十条”)的颁布, 对重点流域水质目标提出新要求, 同时对重点流域的控制单元管理提出新要求。在“十二五”分区基础上, 根据十三五水环境精细化管理需求, 环保部确定流域十三五考核断面, 并结合“水十条”提出重点流域总体目标和分解目标, 确定考核断面2020年水质目标。结合“十三五”水质管理目标和保证乡镇完整性的情况下, 继续深入细化控制单元, 基于高精度数字高程数据、高分遥感数据及社会经济、水环境等基础数据, 构建了“十三五”控制单元划分技术系统, 最终形成了我国1784个控制单元。然而如何实现控制单元的分级分类管理是个重点也是难点, 尤其优先控制单元的划分是流域水环境精细化管理的关键。

根据水域敏感性、水质超标程度及污染类型和典型

水环境安全问题可以将控制单元划分为优先控制单元和一般控制单元, 而优先控制单元根据水环境问题可以具体划分为点源控制单元、面源控制单元和生态水量保障控制单元等。本研究将以遥感分布式面源污染模型—DPeRS(Diffuse Pollution Estimation with Remote Sensing)模型^[1-3]为工具, 以吉林省为应用案例区, 对面源优先控制单元的划分进行示范应用。

2 材料与方法

2.1 研究区域概况

吉林省位于中国东北部, 面积18.74万km², 为温带大陆性季风气候, 地貌形态差异明显, 呈现明显的东南高、西北低的特征, 主要平原以松辽分水岭为界, 以北为松嫩平原, 以南为辽河平原。吉林省辖长春、吉林、四平、松原、白城、辽源、通化、白山和延边朝鲜族自治州。

吉林省是农业大省, 是我国粮食主产区之一, 近年来由化肥施用、农药使用、畜禽养殖、生活垃圾、农用

项目资助: 国家自然科学基金资助项目(No. 41001245, 71103186, 41101378); 国家科技支撑计划(No. 2012BAD15B03)

作者简介: 王谦, 硕士, 调研员, 研究方向为流域水环境综合管理

通讯作者: 王雪蕾, 博士, 研究员, 研究方向为流域水生态过程模拟与污染控制

引用文献格式: 王 谦 等. DPeRS模型在重点流域面源污染优控单元划分中的应用[J]. 环境与可持续发展, 2016, 41(4): 111-115.

薄膜、作物废弃物等生产活动带来的面源污染问题日益严重^[4]，我国学者开展了吉林省面源污染相关的一些研究工作，具体包括吉林省面源污染特征及趋势研究^[5-6]、农业面源污染成因及防治对策^[4]、农业非点源氮氮污染环境影响评价^[7]、地表水非点源氮氮污染负荷研究^[8]、农业非点源污染生态补偿机制研究^[9]、农业非点源污染调控体系研究^[10]等几个方面。对比发现，吉林省面源污染空间模拟分析的相关研究较少。

2.2 研究方法

基于统计数据、历史土地利用、多源遥感数据、DEM和降水等数据，采用遥感分布式DPeRS面源污染负荷模型，对农业面源污染(农田径流、农村生活和畜禽养殖)和城镇径流面源污染进行定量分析，面源指标具体包括总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH₄⁺-N)和化学需氧量(COD_{Cr})。结合面源污染估算指标进行控单元的划分，具体技术路线见图1。

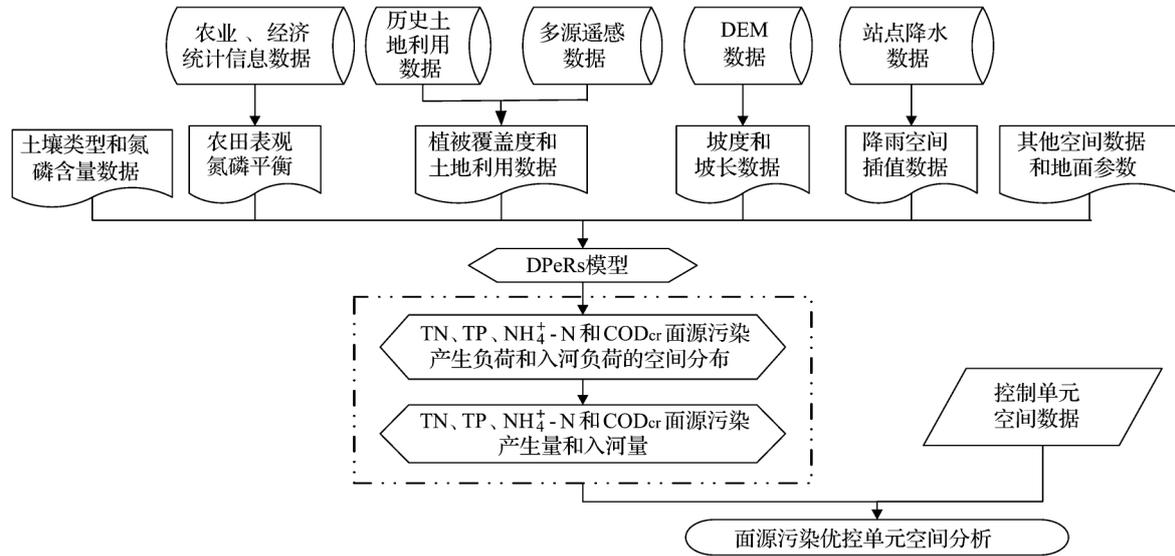


图1 技术路线图

2.2.1 DPeRS模型简介

DPeRS模型是遥感分布式二元结构模型，模型机理与大尺度模型^[11]相同。在本研究中主要应用DPeRS模型对农业(农田径流型、农村生活型和畜禽养殖型)和城镇TN、TP、NH₄⁺-N和COD_{Cr}的面源污染负荷进行估算，本研究中用到的具体模块包括农田氮平衡核算模块，植被覆盖度定量遥感反演模块，溶解态和吸附态污染负荷估算模块、入河模块。具体算法介绍如下：

(1) 农田氮平衡核算模块：采用输入输出法对农田氮表现平衡量进行计算^[12]。输入项包括化肥、饲料、粪肥、生物固氮、大气沉降和种子幼苗等过程，输出项为农作物带走氮量。

(2) 植被覆盖度定量遥感反演模块：应用归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)间接反演植被覆盖度(Fc)^[13,14]，具体算法如下：

$$F_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (1)$$

$$NDVI = \frac{\alpha_{NIR} - \alpha_{RED}}{\alpha_{NIR} + \alpha_{RED}} \quad (2)$$

式中，NDVI_{veg}是纯植被像元的NDVI值，NDVI_{soil}是完全无植被覆盖像元的NDVI值，α_{NIR}是近红外波段的

地表反射率，α_{RED}是红光波段的地表反射率。

(3) 溶解态污染负荷估算模块：以暴雨径流产物模型为基础，具体构建农田径流、农村生活、畜禽养殖和城镇径流的溶解态污染负荷估算方程^[3,15]，具体如下：

$$C_{Dis} = \sum_{j=1}^{12} C_{Disj} =$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{12} \sum_{i=1}^4 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \times (1 - e^{-krt}) \times (Q_i + L_i) \times N_i \times S_i & P > r \\ 0 & P > r \end{cases} \quad (3)$$

$$N_i = Slop_{co} \times Veg_{co} \times Soil_{co} \quad (4)$$

$$S_i = (1 - W) \times (1 - U) \quad (5)$$

式中，C_{Dis}是溶解态面源污染负荷(t·km⁻²)；i是面源污染类型，其中1是农田径流型，2是城镇径流型，3是农村生活型，4是畜禽养殖型；j是月份；Q_i是单位面积面源污染源强(t·km⁻²)；L_i是次降水冲刷后剩余污染物的量(t·km⁻²)；N_i是自然因子修正系数，用来表征对面源污染物空间分布产生影响的主要自然因子的空间异质性；S_i是社会因子修正系数，用以表征城镇和农村的经济发展对面源污染物排放的影响；ε为径流系数；ε₀为标准径流系数，反映不透水硬化地面情况，本

研究中, ε_0 默认取值为 0.87; k 为地面冲刷系数; r 为降雨强度 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); t 为降雨历时 (h); P 为日降雨量 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); $Slop_{co}$, Veg_{co} 和 $Soil_{co}$ 分别为坡度、植被和土壤因子; W 为垃圾处理率; U 为垃圾入网率。

(4) 吸附态污染负荷估算模块: 吸附态 N 和 P 依据土壤侵蚀进行计算, 计算方式如下^[15]:

$$C_{Ads} = A \times Q_a \times E_r \times 10^{-6} \quad (6)$$

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (7)$$

式中, C_{Ads} 是吸附态面源污染负荷 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$); A 年土壤侵蚀量 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); Q_a 为土壤中 N/P 含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); E_r 为时段 N/P 平均富集系数; R 为降雨侵蚀力因子 ($\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot (\text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{a})^{-1}$), K 为土壤蚀性因子 ($\text{t} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot (\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha})^{-1}$), L_s 为地形因子 (unitless); C 为作物因子 (unitless); P 为水土保持措施因子 (unitless)。

(5) 入河模块: 基于 DEM 和流域水系划分亚流域, 在每个亚流域上计算入河系数, 具体方程如下:

$$Q_{discharge} = C_{Dis} \times CR \times Area \quad (8)$$

$$CR = \frac{Runoff}{Prec} \quad (9)$$

式中, $Q_{discharge}$ 为面源污染物入河量 (t); $Area$ 是像元面积; CR 为径流系数 (unitless); $Prec$ 和 $Runoff$ 分别为年降雨量和年径流量。本研究采用的 $Prec$ 和 $runoff$ 数据来源于站点实测数据。

2.2.2 优控单元分析

选取面源污染产生负荷和入河量 2 个指标进行优先控制单元的判定, 其中两个指标的值具体为总氮、总磷、氨氮和化学需氧量 4 个指标值的加和。对所有待划分的控制单元进行平均面源污染产生负荷和平均入河量计算, 对于面源污染产生负荷和入河量均大于均值的控制单元判定为优先控制单元, 即一类控制单元; 产生负荷大与均值而入河量小于均值, 或者产生负荷小于均值而入河量大于均值的控制单元判定为二类控制单元, 分别命名为源头优控单元和入河过程优控单元, 其他情况判定为三类控制单元, 命名为一般控制单元。

2.2.3 数据处理

DPeRS 模型运行需要的数据包括吉林省土地利用、植被覆盖、月降水、坡度坡长、农作物产量等, 具体数据来源和处理方法见表 1。

表 1 主要空间数据列表

数据	来源	处理方法
土地利用	2014 年多源遥感数据	监督分类, 土地利用矢量数据提取
植被覆盖	MODIS16 天合成的 NDVI 产 MOD13A2	最大最小值定量反演算法 ^[18]
土壤类型	地方提供	—
坡度、坡长	ASTER 全球 DEM 数据/30m https://wist.echo.nasa.gov/api/	应用 ls_cal_aml 程序计算得到
月降水	国家气象数据中心下载 http://ncc.cma.gov.cn	将 DEM 作为协变量, 采用薄板样条滑动平均法进行插值 ^[19]
化肥施用量、耕地面积、作物产量等	吉林分县统计年鉴	对部分数据进行修正, 采用输入输出法计算农田氮磷平衡量 ^[20]

3 结果与分析

3.1 吉林省面源污染物空间特征分析和总量核算

3.1.1 面源产污空间特征

应用 DPeRS 模型对 2014 年吉林省面源污染负荷进行空间核算, TN、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 COD_{Cr} 四个指标的面源污染负荷的空间分布见图 2, 结果表明: 吉林省面源污染负荷表现为西北部大的空间分布特征, 具体为长春市中部、松原市西南部、白城和四平北部地区面源污染产生负荷较大。

3.1.2 面源污染物产生量和入河量估算

DPeRS 模型估算结果表明: 2014 年吉林省总氮和化学需氧量面源污染较为突出, TN 和 COD_{Cr} 平均面源污染负荷分别为 $0.13\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$ 和 $0.11\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$, TN 的产生量和入河量分别为 2.4 万 t 和 6384t, COD_{Cr} 的产生量

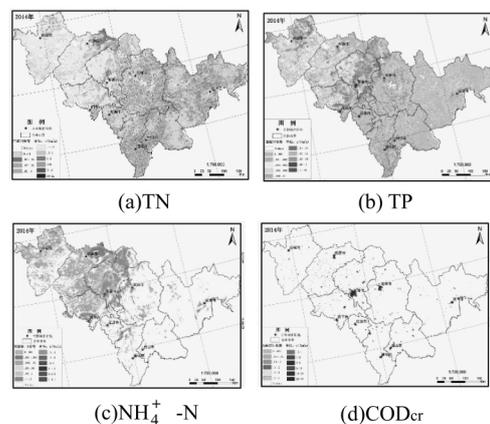


图 2 2014 年吉林省面源污染物产生负荷空间分布和入河量分别为 2.2 万 t 和 4552t, 具体信息详见表 2。

对 DPeRS 模型结果进行空间统计, 吉林省不同城市地区 2014 年面源产污负荷和入河量信息详见表 3。结果表明: 长春市面源污染物产生负荷及入河排放量最大, 其次是吉林市和白城市, 四平市面源污染物产生负荷较高, 但入河量较低。

表 2 2014 年吉林省面源污染指标产生和入河信息列表

指标	产生		入河	
	产生负荷 /t · km ⁻²	产生总量/t	入河负荷 /t · km ⁻²	产生总量/t
TN	0.13	24021	0.03	6384
TP	0.01	1117	0.00	356
NH ₄ ⁺ - N	0.02	4608	0.01	1104
COD _{Cr}	0.11	21667	0.02	4552

表 3 2014 年吉林省各市面源污染指标信息列表

行政区划	TN		TP		NH ₄ ⁺ - N		COD _{Cr}	
	产生负荷 /t · km ⁻²	入河量/t	产生负荷 /t · km ⁻²	入河量/t	产生负荷 /t · km ⁻²	入河量/t	产生负荷 /t · km ⁻²	入河量/t
白城市	0.142	750	0.004	22	0.027	139	0.027	128
白山市	0.027	121	0.005	22	0.002	10	0.026	83
长春市	0.387	2568	0.012	80	0.075	498	0.334	2377
吉林市	0.147	1454	0.008	98	0.025	235	0.097	917
辽源市	0.085	94	0.004	8	0.017	14	0.162	49
四平市	0.163	146	0.008	13	0.051	33	0.416	251
松原市	0.104	269	0.004	10	0.019	51	0.123	377
通化市	0.112	503	0.008	27	0.018	84	0.073	255
延边朝鲜族自治州	0.027	479	0.003	75	0.003	40	0.009	115

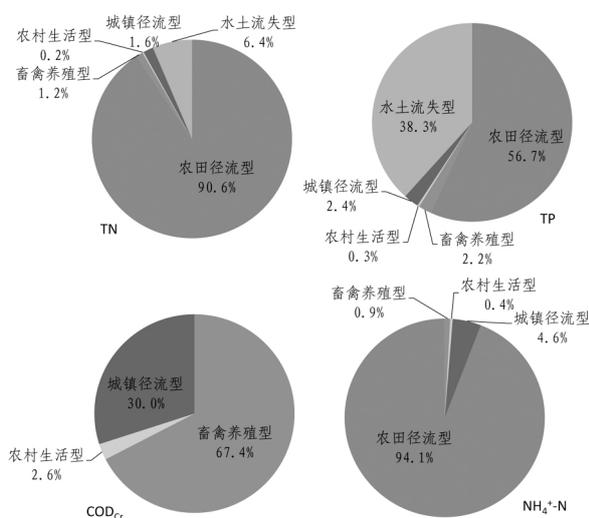


图 3 污染源分析图

3.3 吉林省优控单元分析

参照面源污染模拟结果, 按照有控单元划分原则, 对吉林省 48 个控制单元进行优化筛选, 确定一类优先

3.2 吉林省面源 DPeRS 模型污染源解析

综合 DPeRS 模型模拟结果对吉林省面源污染源进行分析, 结果表明: 农田耕作是总氮和氨氮面源污染主要污染源, 农田径流产生总氮和氨氮量分别为 21814t 和 4337t, 占比均达到 90% 以上; 农田耕作是总磷面源污染主要污染源, 农田径流产生总磷量为 644t, 占比为 56.7%, 其次是水土流失型(占比 38.3%); 对于化学需氧量指标, 畜禽养殖是主要污染源, 产生量为 14601t, 占比达到 67.4%, 其次城镇径流对化学需氧量影响较大, 年产量为 6497t, 占比为 30%。2014 年吉林省面源污染类型占比情况详见图 3。

控制单元 8 个; 二类优先控制单元 13 个, 包括 8 个源头控制单元和 5 个入河过程控制单元; 37 个一般控制单元。具体优控单元划分结果见图 4。

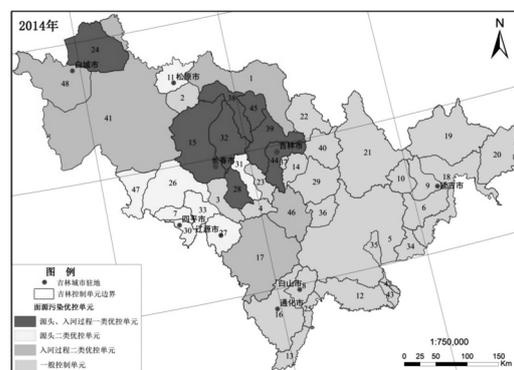


图 4 吉林省优先控制单元空间分布图

4 结论

应用遥感分布式面源污染模型 DPeRS 对吉林省面源污染物总氮、总磷、氨氮和化学需氧量的污染负荷进

行模拟、污染源解析和优控单元分析, 结果表明:

(1) DPeRS 模型在吉林省面源污染模拟结果表明: 吉林省 2014 年面源 TN、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 CODcr 平均污染负荷分别为 $0.13\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$ 、 $0.01\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$ 、 $0.02\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$ 和 $0.11\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$, 产生量分别为 2.4 万 t、1117t、14608t 和 2.2 万 t, 入河量分别为 6384t、356t、1104t 和 4552t。

(2) 面源污染物的空间分布特征表明, 对水质产生影响的面源污染物 TN、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 CODcr 主要集中在吉林省西北部地区, 长春市面源污染物产生量及入河排放量最大。

(3) DPeRS 面源污染源分析表明: 农田径流型污染是 TN、TP 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 最主要的面源污染源, 占总污染量的比重均超过 50%, 且农田径流型 TN 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 占总污染量的比重达到 90% 以上; 畜禽养殖型污染是 CODcr 最主要的面源污染源, 占总污染量的 67.4%。

(4) 优控单元分析结果表明, 吉林省划分的 48 个控制单元中, 一类优控单元 8 个, 二类优控单元 13 个, 包括 8 个源头控制单元和 5 个入河过程控制单元, 其余为一般控制单元。

参考文献:

- [1] 王雪蕾, 冯爱萍, 吴传庆, 等. 利用 DPeRS 模型估算巢湖流域氮磷和化学需氧量的面源污染负荷. 环境科学学报, 2015, 35(9): 2883-2891.
- [2] 王雪蕾, 王新新, 朱利, 等. 巢湖流域氮磷面源污染与水华空间分布遥感解析. 中国环境科学, 2015, 35(5): 1511-1519.
- [3] 王雪蕾, 蔡明勇, 钟部卿, 等. 辽河流域非点源污染空间特征遥感解析 [J]. 环境科学, 2013, 34(10): 3788-3796.
- [4] 丁叮, 杨波. 吉林省农业面源污染成因及对策 [J]. 农业与技术, 2014, 34(10): 26-27.
- [5] 王媛, 马继力, 吕川, 等. 吉林省辽河流域农业面源污染特征及趋势研究 [J]. 吉林农业科学, 2012, 37(3): 61-64.
- [6] 段丽杰, 王程银, 马继力, 等. 吉林省面源污染特征及防治对策 [J]. 新疆环境保护, 2015, 37(2): 1-2.
- [7] 沈万斌, 杨育红, 金国华. 吉林省农业非点源氮磷污染环境影响评价 [J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(4): 574-576.
- [8] 杨育红. 吉林省地表水非点源氮磷污染负荷研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [9] 王楠. 吉林省农业非点源污染生态补偿机制研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [10] 郝芳华, 杨胜天, 程红光, 等. 大尺度区域非点源污染负荷计算方法 [J]. 环境科学学报, 2006, 26(3): 375-383.
- [11] Wang X L, Feng A P, Wang Q, et al. Spatial variability of the nutrient balance and related NPS risk analysis for agro-ecosystems in China in 2010. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2014, 193: 42-52.
- [12] Carlson T N, Arthur S T. The impact of land use - land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective [J]. Global and Planetary Change, 2000, 25: 49-65.
- [13] Jiménez - Muoz J C, Sobrino J A, Plaza A, et al. Comparison Between Fractional Vegetation Cover Retrievals from Vegetation Indices and Spectral Mixture Analysis: Case Study of PROBA/CHRIS Data Over an Agricultural Area [J]. Sensors, 2009, 9(2): 768-793.
- [14] 郝芳华, 程红光, 杨胜天. 非点源污染模型理论与应用 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006. 283-285.
- [15] Wang X L, Wang Q, Wu C Q, et al. A method coupled with remote sensing data to evaluate non - point source pollution in the Xin'anjiang catchment of China [J]. Science of the Total Environment, 2012, 430: 132-143.

Application of DPeRS Model on NPS Priority Control Unit(PCU) Evaluation in Jilin Province

WANG Qian¹ FENG Aiping² YU Xueqian³ YAO Yanjuan² WANG Hongliang⁴ WANG Xuelei²

(1. Ministry of Environmental Protection (MEP), Beijing 100035, China;

2. Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection (SEC, MEP), Beijing 100094, China;

3. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

4. Beijing Geoway Software Company, Beijing 100043, China)

Abstract: During the period of the 12th Five - year Plan, the Ministry of Environmental Protection carries out division management about water pollution prevention, and it divided also control unit in combination of water quality target. After the Water Pollution Prevention Action Plan released in 2015, many new demands about water quality target and the management of control unit in key water basin were put forward. On the basis of the division of period of 12th Five - Year Plan, the control units were further refined and the 1784 control units were formatted in China combined with water quality management target and the integrity of township. However, how to realize the classification management of the control unit is a key and difficult point, and especially the division of priority control units is the key to the precision management of water environment on watershed. Using Diffuse pollution estimation with remote sensing (DPeRS) model as a tool and Jilin province as example, this study probed into a scientific partition method of priority control units from the angel of watershed non - point source pollution, and it provided technical support for scientific basin management. The results showed: 1) In Jilin province, non - point source pollution are mainly TN and CODcr. The discharge of TN was 6384t with the total production being 2.4×10^4 t and CODcr was 4552t with the total production 2.2×10^4 t in 2014. 2) The TN、TP、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and CODcr pollution were mainly located in the northwestern of Jilin province. 3) Farming was the most important source for NPS of nitrogen and phosphorus, and the livestock contributed most of NPS of CODcr. 4) Among 48 control units in Jilin province, there are 21 priority control units which contains 8 first level control units whose production and discharge of pollution are higher and 13 second level control units which contains 8 source control units and 5 process control units.

Keywords: DPeRS model; non - point pollution; priority control unit; Jilin province