

# 基于 GIS-RS 的非点源污染模型研究进展\*

毛玉娜<sup>1)</sup> 叶爱中<sup>1)†</sup> 王雪蕾<sup>2)</sup> 张永勇<sup>3)</sup>

(1)北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 100875, 北京;

2)环境保护部卫星环境应用中心, 100094, 北京;

3)中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地水循环及地表过程重点实验室, 100101, Beijing, China)

**摘要** 描述了非点源污染模型的发展历程, 深度总结了非点源污染建模的基础理论、分析了现有的模型及应用的研究进展, 提出 GIS-RS 与非点源污染模型集成时面临的问题, 探讨了基于 GIS-RS 的非点源污染研究方向, 对非点源污染研究的进一步发展有重要意义。

**关键词** 非点源污染模型; 地理信息系统(GIS); 遥感(RS); 综述

非点源污染(nonpoint source pollution: NPS)指溶解性或固体物质在大面积降雨和径流冲刷作用下汇入受纳水体(河流、湖泊等)而引起的水体污染<sup>[1]</sup>, 其主要来源包括农药化肥的过量使用、农村生活污水等, 并且呈现以下几个特点, 在时间上具有随机性和间歇性, 在机制和过程上具有复杂性, 在排放通道和数量上具有不确定性, 在空间上具有分布广泛性, 在污染物组成和负荷上具有时空易变性, 并且监测、模拟、管理与控制上难度较大<sup>[2-3]</sup>。

NPS 是一个有待解决的世界性难题<sup>[4]</sup>。根据美国、日本等国家的报道, 即使点源污染得到全面控制以后, 江河的水质达标率仅为 65%, 湖泊的水质达标率为 42%, 海域水质达标率为 78%。荷兰农业非点源提供的总氮、总磷分别占水环境污染的 60% 和 40%~50%<sup>[5]</sup>。我国 NPS 程度也日益加大, 研究表明, 北京密云水库、安徽巢湖等海域, NPS 比例超过点源污染, NPS 成为威胁水质的主要原因和我国最为主要的一类污染源<sup>[6-8]</sup>。因此, 非点源污染研究与治理已经非常的必要并且亟需解决。

20 世纪 70 年代以来, 基于经典的物质迁移转化方程, 国内外学者针对 NPS 都做了相关的研究, 并提出了各种各样的模型<sup>[9-10]</sup>, 对 NPS 负荷的估算从简单的统计模型发展到机制模型, 模拟尺度也从对农田集水区的估算扩展到大流域, 这些模型虽对 NPS 的研究提供了有力工具, 有一定的模拟精度, 但由于机制模型数据量需求较大且难获得、实施较难等原因, 一定程度上限制了其模拟的精度。20 世纪 90 年代以来, GIS-RS 技术的迅速发展带来了非点源污染研究的一次革

命。一方面, GIS 具有强大的数据提取、管理、空间分析和可视化的功能; 另一方面, RS 可以实时、快速地记录大面积流域的空间信息及各种变化信息, 因此二者与 NPS 模型结合促进了模型高效快速的运行, 逐渐成为对 NPS 负荷进行定量化估算与研究的主要手段<sup>[11]</sup>。所以需要我们及时跟踪 NPS 模型的发展。

本文分析了基于 GIS-RS 的 NPS 模型的理论基础、建模及应用研究进展, 探讨了基于 GIS-RS 的 NPS 模型研究面临的问题以及未来研究前景, 并进行了总结。

## 1 基于 GIS-RS 的 NPS 模型的研究

基于 GIS-RS 的 NPS 模型研究可以分为 3 个重要阶段。第一阶段是 19 世纪到 20 世纪中期, 理论基础奠基阶段。在这个阶段中流体力学、物理学及化学的发展为 NPS 模型的起步奠定了理论基础; 第二阶段是 20 世纪中晚期的模型建立阶段。欧美发达国家的经济发展带来污染问题, 于是纷纷开始建立 NPS 模型; 第三阶段是 20 世纪末到 21 世纪的发展应用阶段。这个阶段随着计算机技术与 GIS-RS 技术的发展, NPS 模型得到了很好的发展与应用, 趋向于成熟。NPS 模型的发展历程可以概括为理论基础、模型建立和模型应用 3 个方面, 具体如图 1 所示。

1.1 基于 GIS-RS 的 NPS 模型理论研究 NPS 的机制过程复杂, 降雨或融雪径流对地表土壤进行冲刷侵蚀, 造成土壤中污染物随地表径流汇入受纳水体, 从而造成水体污染, 整个过程涉及水文、土壤侵蚀和污染物迁移转化 3 个方面, 因而在对 NPS 建立模型时首先需

\* 国家科技支撑计划课题资助项目(2013BAB05B04); 长江科学院开放研究基金资助项目(CKWV2012324/KY)

† 通信作者

收稿日期: 2012-06-18

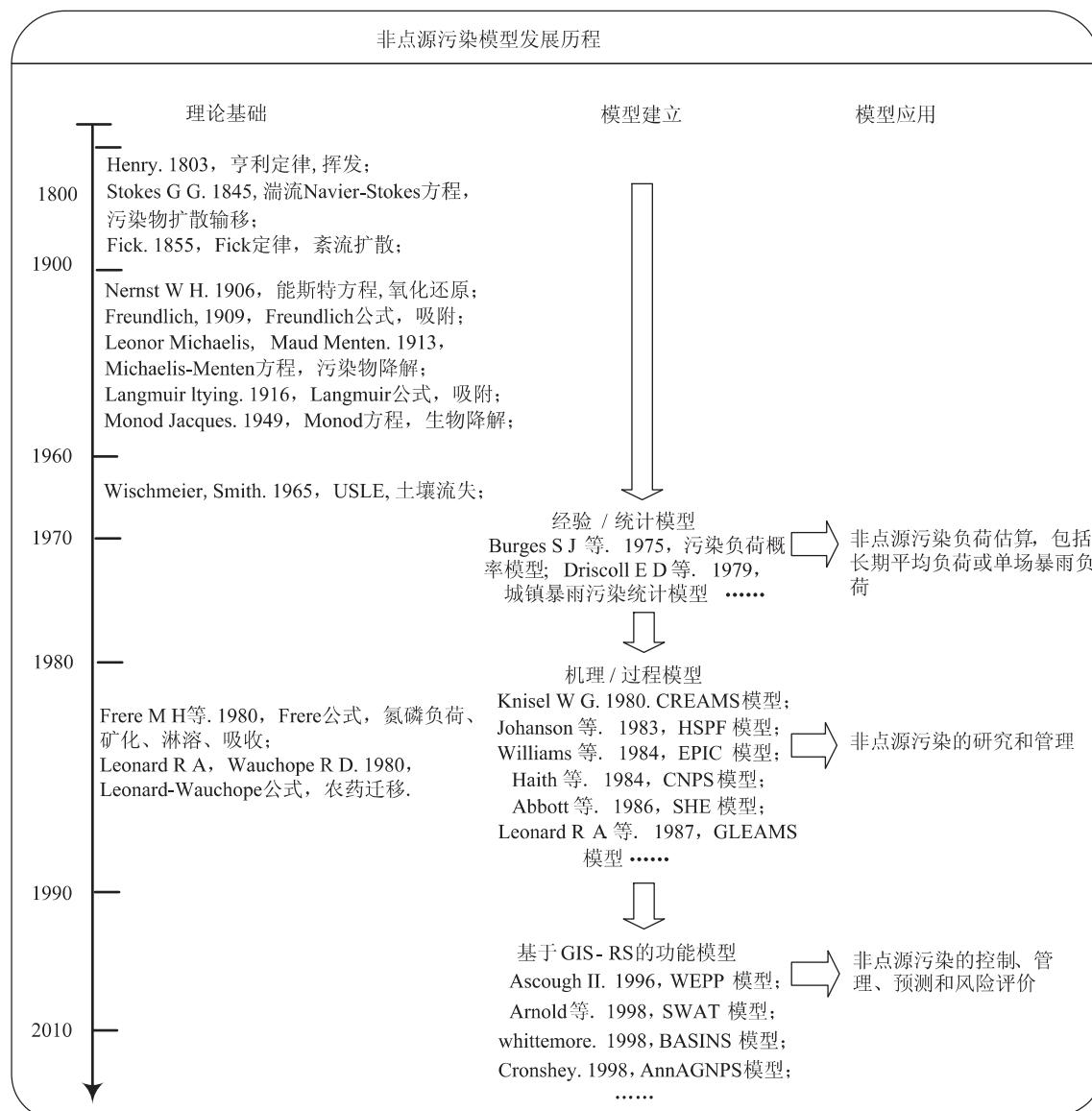


图 1 NPS 模型发展历程

要考虑这 3 个方面的理论基础。

水文学的经典理论主要是达西定律<sup>[12]</sup>、曼宁公式<sup>[13]</sup>、Green-Ampt<sup>[14]</sup> 方程、Richards<sup>[15]</sup> 方程、Penman-Monteith<sup>[16]</sup> 公式等。土壤侵蚀过程建立在一个广泛应用的数学模型 USLE(通用土壤流失方程)理论的基础上。本文重点讨论污染物迁移转化的理论基础。

污染物的迁移转化过程主要是描述泥沙、氮、磷、农药等污染物扩散、挥发、吸附、降解、矿化、硝化和反硝化、氧化还原等过程。流体物质的输移采用 George Gabriel Stokes 于 1845 年提出的 Navier-Stokes 方程<sup>[17]</sup>

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = - \nabla p + \nabla \cdot T + f, \quad (1)$$

式中,  $v$  是流速,  $\rho$  是流体密度,  $p$  是压力,  $T$  是应力张

量,  $f$  是作用于单位体积流体的力量,  $\nabla$  是倒三角算子。

扩散通过经典的 Fick 定律<sup>[18]</sup> 来描述, 在 NPS 中主要是紊流扩散;

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \quad (2)$$

式中,  $c$  是物质浓度( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ),  $t$  是时间(s),  $D$  是扩散系数( $\text{s}^{-1}$ ),  $x$  是物质在液体中的位置。

吸附计算有著名的 Langmuir 型<sup>[19]</sup> 和 Freundlich 型<sup>[20]</sup> 2 种等温吸附曲线;

$$\theta_A = \frac{K_{eq}^A p_A}{1 + K_{eq}^A p_A}, \quad (3)$$

式中,  $\theta_A$  是吸附物 A 的吸附量,  $p_A$  是 A 的分压,  $K_{eq}^A$  是平衡状态下 A 的吸附率常数。

$$\theta_A = \alpha_F p^{C_F}, \quad (4)$$

式中  $\alpha_F$  和  $C_F$  是固定参数.

降解计算理论基础之一是生物化学上最简单最有名的 Michaelis-Menten 动力学方程<sup>[21]</sup>

$$v = \frac{d[P]}{dt} = \frac{V_{\max}[S]}{K_m + [S]}, \quad (5)$$

式中,  $v$  是降解速率,  $V_{\max}[S]$  是最大基质浓度下获得的最大反应速率,  $K_m$  是反应速率为最大速率的一半时的饱和浓度,  $[S]$  是基质浓度.

降解理论基础之二是 Monod 方程<sup>[22]</sup>, 二者区别主要是前者基于理论考虑, 后者则是经验公式

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S}, \quad (6)$$

式中,  $\mu$  是微生物的特定生长速率,  $\mu_{\max}$  是微生物的最大生长速率,  $S$  是生长限制的基质浓度,  $K_s$  是半速率常数.

矿化广泛采用 CREAM 模型<sup>[23]</sup> 中应用的 Frere 公式, 它描述了氮磷等污染物的矿化等作用

$$TK = \exp(15.807 - 6.350/TA), \quad (7)$$

$$WK = AWC/FC, \quad (8)$$

$$MN = POTM \times WK \times (1 - \exp(-TK \times DAYS)) \quad (9)$$

式中,  $TK$  是温度系数,  $TA$  是开氏温度,  $WK$  是水系数,  $AWC$  是平均体积含水量,  $FC$  是容量分数,  $POTM$  是土壤中潜在矿化氮量,  $MN$  是矿化氮量.

针对农药的迁移 NPS 广泛采用 Leonard-Wauchope 公式<sup>[24]</sup>

$$K_d = \frac{c_s}{c_w} \quad (10)$$

式中, 在平衡状态下,  $K_d$  是划分系数,  $c_s$  是农药在土壤或固体阶段的浓度,  $c_w$  是溶解阶段农药的浓度.

污染物的氧化还原反应采用电化学上的 Nernst

方程<sup>[25]</sup>

$$E = E^{\circ} - \frac{0.05916}{n} \tan \left[ \frac{[\text{red}]}{[\text{ox}]} \right], \quad (11)$$

式中,  $E$  是氧化还原对的平衡电压,  $E^{\circ}$  是电极标准电势,  $n$  是半反应式的电子转移数 (mol),  $[\text{ox}]$  代表氧化型化学物质的活度 (活度为浓度与活度系数乘积),  $[\text{red}]$  代表还原型化学物质的活度.

这些理论一并构成了 NPS 的迁移转化部分. 基于对水文模块、土壤侵蚀模块和污染物迁移转化 3 个模块理论的研究, 奠定了 NPS 建模的理论基础.

**1.2 基于 GIS-RS 的 NPS 模型研究进展** 基于上述理论基础, NPS 模型的发展经历了经验/统计模型 (1960s—1970s)、机制/过程模型 (1970s—1990s) 和基于 GIS-RS 的功能模型 (1990s—) 阶段 (见图 1). 经验/统计模型通过建立 NPS 负荷和区域特征之间的统计关系实现 NPS 估算, 此类模型多属于“黑箱”模型, 所需数据量小, 应用简单方便, 但物理机制不够明确, 受限于已有的观测信息, 导致精度不高, 典型的经验统计模型包括污染负荷概率模型<sup>[26]</sup>、城镇暴雨污染统计模型<sup>[27]</sup> 等. 机制/过程模型通过对 NPS 的降雨径流、土壤侵蚀和污染物迁移转化 3 个过程建立模型, 能够完整系统地描述 NPS 的机制过程, 定量化 NPS 负荷, 此类模型多属于“白箱”或“灰箱”模型, 模拟精度提高, 计算时间连续, 但所需大量基础观测数据, 导致模型应用存在一定困难. 在此阶段, 国外典型的模型主要有 CREAMS<sup>[23]</sup>、ANSWERS<sup>[28]</sup>、AGNPS<sup>[29]</sup>、HSPF<sup>[30]</sup>、EPIC<sup>[31]</sup>、CNPS<sup>[32]</sup>、SHE<sup>[33]</sup> 和 GLEAMS<sup>[34]</sup> 等模型 (见表 1、表 2). 我国这一时期主要工作是对 NPS 的宏观特征与污染负荷定量计算模型进行初步研究, 代表模型有新安江模型<sup>[35]</sup> 等.

表 1 模型英文名说明

模型名称	英文书名	参考文献
CREAMS	Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems	[23]
HSPF	Hydrological Simulation Program-Fortran	[30]
ANSWERS	Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation	[28]
AGNPS	Agricultural Nonpoint Source	[29]
EPIC	Erosion Productivity Impact Calculator	[31]
CNPS	Cornell Non-Point Source	[32]
GLEAMS	Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems	[34]
SWAT	Soil Water Assessment Tool	[36]
WEPP	Water Erosion Prediction Project	[37]
SWRRB	Simulator for Water Resources in Rural Basins	[38]
BASINS	Better Assessment Science Integrating Point and Non-point Sources	[39]
AnnAGNPS	Annualized Agricultural Nonpoint Source	[40]

表 2 国外常见非点源模型对比

模型名称	发布时间	参数形式	空间尺度	时间尺度	时间步长	模型结构	GIS-RS 应用	参考文献
HSPF	1980—2001	A	流域	L	60 s, 1 d	透水地面、不透水地面、河流或湖泊水库三部分。斯坦福模型; 土壤侵蚀模型; 污染物包括 BOD、氮、磷和农药等。	集成在 Arcview 中, 自动提取地形、地貌、土地利用等数据。	[30]
ANSWERS	1977—2000	D	流域	S, L	60 s, 1 d	径流、入渗、泥沙、蒸散发; 氮、磷子模型, 复杂污染平衡	以 ArcInfo 为基础	[28]
SWRRB	1984—1993	A	流域	L	1 d	SCS 水文模型, 入渗、蒸发、融雪; 改进 USLE; 应用 GIS 将研究区域划分为子流域。考虑氮、磷负荷, 复杂污染物平衡	[38]	
AGNPS	1987—1998	D	流域	S, L	1 d	水文、侵蚀、沉积和化学传输四大模块; SCS 水文模型; USLE; 氮、磷采用 CREAM 模式, GIS-RS 可视化。RS 提供地表植被通过化学传输模块分为可溶性部分和泥沙结合、作物的分布数据, 合成进行计算	[29]	
WEPP	1989—1995	D	小尺度坡面、流域	L	1 d	气候、表面和亚表面的水文、冬季冻融过程、输送和沉积; 泥沙的运动。	基于 ArcView 软件平台上的二次开发模型。RS 土地覆被信息的获取。	[37]
CNPS	1996	D	流域	L	1 d	SCS 水文模型, 入渗、蒸发; 改进 USLE; 氮、磷负荷, 简单污染物平衡	GIS 获得的空间数据估算营养物质含量	[32]
SWAT	1994—2009	D	流域	L	1 d	SCS 水文模型, 入渗、蒸发; 改进 USLE; 氮、磷负荷, 复杂污染物平衡	ARCView 与 SWAT 形成 AVSWAT。RS 在 SWAT 中的应用主要是提供土地覆被数据。	[36]
BASINS	1998	D	流域	L	1 d	稳态水质模型(QUAL2E); 流域模型(HSPF、SWAT); 污染物负荷模型(PLOAD)	在 GIS 集成地形数据、环境背景数据、监测数据。	[39]

注: 1. 发布时间格式为: 第一版时间—最新版时间; 2. 参数形式:A. 集中式参数,D. 分布式参数; 3. 时间尺度:S. 单次暴雨,L. 长期连续

在纯物理机制的模型发展遇到瓶颈时, GIS、RS 技术的发展带来了 NPS 模型发展的契机, 使 NPS 模型发展更加强调其功能化、实用化, 但同时具备相对明确的物理机制, 即所谓的基于 GIS-RS 的功能模型。在此阶段, 国外典型模型有 SWAT<sup>[36]</sup>、WEPP<sup>[37]</sup>、SWRRB<sup>[38]</sup>、BASINS<sup>[39]</sup> 和 AnnAGNPS<sup>[40]</sup> 等(见表 1、2)。从表中看出, 在参数形式方面, 模型由集中式参数模型到分散式参数模型发展, 这是由于集中式参数模型不考虑时空变异性, 适用流域面积较小, 因而提出了反映时空变异性的分布式参数模型, 有利于提高 NPS 模拟的精度; 在空间尺度方面, 模型从 20 世纪 90 年代以前的农田尺度发展到现在的流域尺度, 尺度范围扩大, 模型的应用能力提高; 在时间尺度方面, 模型也从 20 世纪 90 年代以前的单个事件发展到时间连续性模型, 考虑了亚表面流、蒸散发、植物生长等水文因素, 为 NPS 长期监测、控制和管理提供了条件; 在 GIS-RS 应用方面, GIS-RS 在模型中的应用越来越突出, 与模型的集成方式由松散集成向紧密模型集成<sup>[41]</sup>, 通过充分挖掘 GIS-RS 技术在 NPS 中的应用优势, 使 NPS 的研究向更高的层次完全集成发展(见表 2)。在我国, GIS-RS 在 NPS 研究中的作用主要表现在与一些国外模型结合进行模拟或者应用综合分析和统计方法对非点源进行评估, 而在适应国情条件下我国完全自主开发并

且模拟效果较好的模型比较少。表 3 列举了我国 NPS 模型的部分进展, 从表中看出我国主要采用的模型有 4 种, 第 1 种是不考虑污染物在地表的迁移转化, 通过建立污染物输出量和区域特征的经验统计模型模拟 NPS, 并且得到广泛应用<sup>[42]</sup>, 如表中的区域径流-污染负荷模型<sup>[43]</sup>、暴雨径流污染概念模型<sup>[44]</sup>、营养负荷和泥沙关系模型<sup>[45]</sup>、改进的 Johnes 输出系数法<sup>[46]</sup>、降雨量差值法<sup>[47]</sup>等; 第 2 种是通过对 NPS 的 3 个过程进行模拟, 估算 NPS 的输出量, 如应用于大尺度区域的二元结构溶解态 NPS 负荷模型<sup>[48]</sup>; 第 3 种是李怀恩从我国实际出发, 建立的一个完整的流域 NPS 模型系统, 如平均浓度法模型<sup>[49]</sup>; 第 4 种就是李家科基于支持向量机<sup>[50]</sup>、偏最小二乘法<sup>[51]</sup>、自记忆原理<sup>[52]</sup>、灰色理论和神经网络<sup>[53]</sup>等数学方法建立的模型。总的来看, 我国相当部分都是应用统计模型, 这种统计模型简单方便, 但功能单一。因此基于 GIS-RS 技术开发出适合我国国情的机制模型仍是我国 NPS 模型发展的一个研究趋势。

基于 GIS-RS 的模型的一般流程见图 2。GIS-RS 在 NPS 模型中起着至关重要的作用, GIS 在 NPS 研究中的应用主要体现在建立 NPS 数据库、提取 NPS 模型参数和与 NPS 模型的集成 3 个层次<sup>[54]</sup>。RS 在 NPS 模型中的作用主要表现在提供长期动态和连续

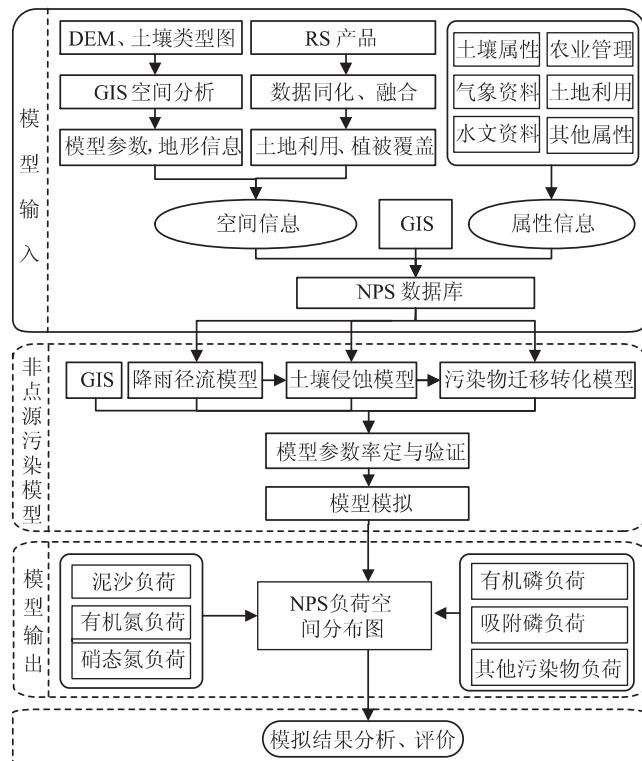


图 2 基于 GIS-RS 的 NPS 模型的计算流程

的高分辨率的空间资料,尤其是在地面观测手段和资料缺乏的地区,表 2 和表 4 列举了 RS 与 NPS 模型集成实例。从表 4 看出,RS 在 NPS 模型中的应用从原先的简单提取模型参数到现在的与模型耦合,表明 RS 在 NPS 中的作用越来越突出。GIS、RS 在 NPS 中分别发挥着重要的作用,并且二者结合应用于 NPS 成为了国内外 NPS 研究的一个趋势。

**1.3 基于 GIS-RS 的 NPS 模型应用研究** 从图 1 可看出,在 1960s—1970s 之间,NPS 模型为经验/统计模型,主要应用于估算长期平均负荷或单场暴雨负荷<sup>[68-69]</sup>。经验模型能够简便地模拟流域出口的 NPS 负荷,具有一定的实用性,但是不能描述污染物迁移转化的过程和时空分布特征,因此限制了其进一步的应用。Haith<sup>[68]</sup>通过相关分析和回归分析这些统计方法,对纽约州 20 个流域建立水质与土地利用数据的关系,得到土地利用对 NPS 的影响。

在 1970s—1990s 之间,NPS 模型为机制/过程模型发展阶段,主要应用于 NPS 发生发展过程研究和管理,通过研究 NPS 的机制过程,模拟降雨过程中污染物的迁移转化,对 NPS 定量化,对 NPS 负荷的模拟效果

表 3 国内典型非点源模型对比

模型名称	开发时间	应用区域	采用公式	模型类型	GIS-RS 应用	参考文献
区域径流-污染负荷模型	1985	于桥水库	$M = \sum Q_i \cdot c_i$ , $M$ 指某种污染物输出总量, $Q_i$ 指第 $i$ 个小时的径流量, $c_i$ 指第 $i$ 个小时的污染物浓度 淋洗: $W_1 = 10^{-6} G \times P \times F$ , 冲刷: $W_2 = 10^{-6} c_2 \times G$ , $W_1$ 为雨水淋洗某污染物的污染量, $G$ 为雨水中污染物浓度, $F$ 为汇水面积, $P$ 为降雨量; $W_2$ 为雨水冲刷某污染物的污染量, $c_2$ 为单位质量的沉积物中污染物浓度, $G$ 为区域内每年清掏阴井沉积物的含量。	A	—	[43]
暴雨径流污染概念模型	1986	苏州市	$W_T = c_{SM} W_S + c_{BM} W_B$ , $W_T$ 为年负荷总量, $c_{SM}$ 、 $c_{BM}$ 分别为地表径流和地下径流的平均浓度; $W_S$ 、 $W_B$ 为年地表和地下径流量。	C	基于 RS 影像获取土地利用	[44]
平均浓度法	2000	黑河流域	$Y_i = S_i E R_i Y_s$ , $Y_i$ 为第 $i$ 种污染物的负荷量或浓度; $S_i$ 为流域内土壤表层中第 $i$ 种污染物的含量; $E R_i$ 为第 $i$ 种污染物的富集比; $Y_s$ 为河流某断面或流域出口处的输沙量或含沙量,	C	—	[49]
营养负荷-泥沙关系法	2003	流域	$L = \lambda \{ \alpha \sum_{i=1}^n E_i [A_i (I_i)] + p \}$ , $L$ 为营养物流失量; $E_i$ 为第 $i$ 种营养源输出系数; $A_i$ 为第 $i$ 类土地利用类型面积或第 $i$ 种牲畜数量、人口数量; $I_i$ 为第 $i$ 种营养源营养物输入量; $p$ 为降雨输入的营养物量。	A	—	[45]
改进的 Johnes 输出系数法	2004	流域	$L_n = f(R)$ , $L_p = C$ , $L = L_n + L_p = f(R) + C$ , $L_n$ 为非点源负荷, $L_p$ 为点源污染负荷, $R$ 为降雨量, $f(R)$ 为 $L_n$ 与降雨量 $R$ 的函数关系, $C$ 为常数	C	—	[46]
降雨量差值法	2005	流域	$C = \sum_{i=1}^4 \rho * Q_i * N_i * S_i$ , $C$ 是单位面积 NPS 负荷; $i$ 是 NPS 类型; $Q_i$ 是单位面积 NPS 源强; $\rho$ 是非点源产污系数; $N_i$ 是自然因子修正系数; $S_i$ 是社会因子修正系数。	A	—	[47]
二元结构溶解态 NPS 负荷模型	2006	大尺度区域	$x_1 = \sum_{i=-q-1}^{-1} \alpha_i y_i + \sum_{i=-q}^0 \theta_i F(x, i) + \sum_{i=1}^n \gamma_i M_i$ , $\alpha_i$ 为记忆系数; $y_i$ 为系数; $M_i$ 为第 $i$ 种 NPS 影响因子。	B	GIS 建立数据库, RS 获取土地利用、植被盖度等	[48]
支持向量机模型	2006	流域	支持向量机算法	A	—	[50]
偏最小二乘回归模型	2007	流域	偏最小二乘算法	A	—	[51]
自记忆模型	2009	流域	$x_1 = \sum_{i=-q-1}^{-1} \alpha_i y_i + \sum_{i=-q}^0 \theta_i F(x, i) + \sum_{i=1}^n \gamma_i M_i$ , $\alpha_i$ 为记忆系数; $y_i$ 为系数; $M_i$ 为第 $i$ 种 NPS 影响因子。	A	—	[52]
灰色神经网络模型	2011	流域	灰色神经网络模型算法	A	—	[53]

注:1. 类型:A 经验/统计模型,B 机制/过程模型,C 概念模型;2.“—”表示没有考虑 GIS-RS 应用。

表 4 RS 与 NPS 模型集成举例

RS 数据	流域	目标	特色	参考文献
彩红外遥感航片	邛海流域	从彩红外遥感航片判读来率定土地利用、地形等重要参数	基于 RS 数据率定土壤侵蚀模型参数	[55]
TM 影像	湖南省平江县	从 TM 图像获取水土流失强度信息和土地利用类型.	采用遥感影像信息,为非点源模型拟定参数.	[56]
SPOT 卫星影像	台湾 Kao-Ping 河流域	从 RS 影像获取土地利用分类图	利用 RS 影像获取土地利用类型和土地利用变化情况	[57]
TM、Landsat ETM+2000	三峡流域	从 RS 数据数据获得土地覆盖、植被覆盖度和土壤侵蚀强度.	基于 RS 数据提取 NPS 影响因子	[58]
TM 影像	乐安河流域	利用 TM 影像准确获取流域土地利用情况	基于 RS 获取土地利用	[59]
SPOT5、QuickBird	官厅水库库滨带	利用两幅影像获取不同植被类型的覆盖区面积和植被覆盖度	基于 SPOT5 遥感数据的遥感计算模型的建立	[60]
QuickBird	Gyeongancheon 流域	结合 SWAT 模型和 QuickBird 高分辨率影像评价 BMP 措施对 NPS 的影响	基于 QuickBird 获取研究区域土地利用	[61]
TM	艾比湖流域	基于 TM 影像获得艾比湖流域影像图并作为景观类型的分类和分析的基图.	基于 RS 影像获取研究区域图像.	[62]
Landsat TM	杭嘉湖区域	基于 RS 影像和研究区域地形图进行人机交互式目视解译,得到土地利用现状图.	基于 RS 影像获取研究区域土地利用现状图.	[63]
多来源 RS 数据	恒河平原	基于 RS 图像获得的季节性水稻种植区域、土壤类型图数据和施肥量强度数据估算通过过滤和氨挥发的氮流失.	基于多来源 RS 影像获取研究区域水稻种植区域	[64]
ETM、TM 和 MODISndvi	三亚库区	利用 ETM 和 TM 数据获取研究区域土地利用, MODISndvi 研究植被变化情况,以便于研究土壤侵蚀量.	基于 RS 影像获取研究区域土地利用数据,利用修正通用土壤流失方程估算土壤侵蚀量.	[65]
NOAA-AVHRR 的 NDVI 和 Terra-MODIS 的 EVI	江西省	基于 USLE 模型和 RS 数据的耦合定量评价研究区域土壤侵蚀空间分布	利用 RS 数据和通用土壤流失方程模型相耦合,获取土壤侵蚀空间分布.	[66]
环境卫星数据 (HJ1A/B CCD)	新安江流域	基于二元结构核算模型对研究区 NPS 负荷估算	基于 RS 数据实现像元尺度模拟,具有很好的空间可视化功能	[67]

较好. Mishra 等<sup>[70]</sup>利用 HSPF 模型模拟印度一个具有混合土地利用类型的小流域非点源污染物流失量,结果表明, HSPF 模拟值与实测值相当,因而 HSPF 是一个有效模拟 NPS 的一个工具. Chinkuyu 等<sup>[71]</sup>基于 GLEAMS 模型和 RZWQM (root zone water quality model) 模型预测 2 种农业区域(有渗流区的和没有渗流区的区域)地表径流中莠去津和丙草胺两种农药的流失量,结果表明,模型可以被用于评价渗流区对农业地表径流农药流失量的影响.

1990s 以来, GIS-RS 技术在 NPS 模型中的应用已成为 NPS 模型研究领域的热门课题,这期间建立的模型为基于 GIS-RS 的功能模型,主要应用于 NPS 的控制和管理,对 NPS 进行预测和风险评价.许多大型的流域分布式模型如 SWAT、AGNPS、HSPF 等基于 GIS-RS 模拟 NPS 机制过程,大大提高了模型参数输入、校验速率和模拟结果的空间可视化<sup>[72-73]</sup>.在国外, de Paz 和 Ramos<sup>[74]</sup> 在 GIS 技术的支持下,利用

GLEAMS 模型评价西班牙巴伦西亚市农业区域硝酸盐污染风险,得到的污染风险图表明有地下水灌溉的植被有最大的地下水硝酸盐污染的潜在风险; Ning 等<sup>[75]</sup> 基于 GIS-RS 和 GWLF (generalized watershed loading functions) 模型集成验证 NPS 对台湾高屏溪流域的影响,从而制定管理政策. Deslandes<sup>[76]</sup> 基于 GIS-RS 和 SWAT 模型的集成建立非点源污染物磷污染指标,从而为派克河提供一个整体磷来源和迁移的框架. Bin Masood 等<sup>[77]</sup> 基于 GIS-RS 技术,利用 PLOAD 模型模拟 Hokarsar 湿地汇水区 NPS 负荷.在国内,胡远安等<sup>[78]</sup> 基于 GIS-RS 提取非点源模型空间参数,研究 SWAT 模型在芦溪小流域的 NPS 负荷. 张晶楠<sup>[79]</sup> 利用由 GIS-RS 与 SWAT 模型集成得到的 AVSWAT 模型研究河北省平原区的水文情况,有利于 NPS 的计算和控制. 何泓杰<sup>[80]</sup> 基于 GIS-RS 与 HSPF 模型的集成估算流溪河流域 NPS 负荷,以便于 NPS 的研究与控制. 徐恺等<sup>[81]</sup> 基于 GIS-RS 和

AnnAGNPS 模型的集成,分析西枝江流域的 NPS 时空分布特征,有利于 NPS 的控制和管理.

## 2 基于 GIS-RS 的 NPS 模型研究面临的问题和未来展望

GIS-RS 与 NPS 模型的集成,一定程度上有利于 NPS 输入参数的效率、数据空间分析的能力、数据有效地管理和模拟结果可视化等,为模型模拟 NPS 负荷提供了重要工具.但是由于常用 NPS 模型来源于国外,并且这些模型开发与不同的区域,因此当引进国内时就会出现很多问题,一方面我国气候状况、土壤类型、土地利用等自然条件与国外相差较大,另一方面我国耕作方式、农业化肥施用量等人为条件也与国外不同.通常将 GIS-RS 与 NPS 模型进行集成时将面临以下几个问题.

1) 模型验证问题:模型验证指将模型模拟或预测结果与实际观测结果进行对比并对模型中的一些参数进行调试以适合模型的过程,如在应用 SWAT 模型中会对模型中的一些参数如土壤可蚀性因子、地形因子、粗糙碎度因子、水土保持措施因子等进行验证.因此当 GIS、RS 与 NPS 模型进行集成时要充分验证模型的有效性,从而提高模型输入数据和输出数据的精度.

2) GIS 与模型集成时的运算效率问题:由于在 GIS 中,流域 NPS 数据库的土地利用类型、土壤和地形等信息通常用多边形来表达而 NPS 模型对 GIS 图层的数据结构要求是栅格数据,如 DEM.因此,如果 GIS 与 NPS 模型集成,就会涉及到矢量数据转换为模型所能处理的栅格数据的效率问题.另一个集成时所遇到的效率问题是 GIS 的栅格数据转换为模型所需要的文件格式.这 2 个效率问题都会影响 NPS 模型模拟的有效性.

3) 模型模拟结果的不确定性:NPS 模型中涉及到的水文过程、土壤侵蚀和污染物的迁移转化过程中各个参数的确定具有很大的不确定性,如进行降雨信息空间差值带来的不确定性<sup>[82-83]</sup>,这将会直接影响到 NPS 模型的有效性.

4) 模型与 GIS-RS 尺度匹配问题:尺度问题是地学研究领域的经典问题,在非点源模型建模时尤其表现得突出.如遥感数据在空间上能达到米级的在时间上却只能数天甚至数月才能提供一景,高时间分辨率的遥感数据空间分辨率又不高,导致遥感影像数据应用到 NPS 模型中需要进行数据同化与融合来转换尺度.观测的污染数据往往是点上的,数天,半个月甚至几个月一次,而 NPS 需要的是空间上高时空分辨率的

数据,在观测数据的尺度上存在很大差距,急需解决.

从上述可知,基于 GIS-RS 的 NPS 模型存在一系列问题,因而对 NPS 模型的研究也提出了更高的要求,也成为近年来 NPS 模型研究中的一个热点和难点.针对 GIS-RS 在 NPS 模型集成出现的问题,需要从以下几个方面得到改善.

1) 进一步挖掘 GIS-RS 技术在 NPS 模型中的应用潜力,并向广度和宽度发展. GIS-RS 与 NPS 模型集成将是今后 NPS 研究中应用的主要手段,通过挖掘 GIS-RS 技术的应用潜力,最终建立基于 GIS-RS 技术集成的具有各种信息显示、查询、分析以及在线监测、模拟和预测暴雨等功能的流域 NPS 信息系统,将是 GIS-RS 与 NPS 模型集成的更高层次,也是需要努力的方向.

2) 增强模型参数获取能力,提高 NPS 模型有效性. NPS 模型发展到现阶段基本到了一个瓶颈期,模型算法不可能有更进一步创新了,只有在模型参数获取手段和获取方法取得突破,才能进一步推动 NPS 模型的发展.

3) 加强对污染物迁移路径的认识,深入研究有关的 NPS 模型. 在理论方面,污染物的迁移路径还没有清楚的认识,因此通过示踪试验的方法来确定迁移路径应是未来一个发展方向.通过提高污染物迁移转化的模拟能力,进一步深入研究 NPS 模型,并借助于 GIS-RS 技术,开发出功能更强大的 NPS 模拟模型,从而更好地认识、管理和控制 NPS 奠定了基础.

4) 加强对 NPS 模拟的不确定性研究,定量分析 NPS 的不确定性. 不确定性研究是当前 NPS 领域中的一个热点问题,只有深入分析 NPS 模拟结果不确定性的来源和解决办法,对模型进行最优化,才能提高模型的有效性,促进模型进一步应用.廖谦等围绕农业 NPS 模拟的不确定性问题,介绍了国内外常用的 NPS 模型及其不确定性来源,着重探讨了模型参数、结构和输入信息等不确定性的研究方法及其应用进展,并提出了今后的一个研究趋势是定量分析 NPS 的不确定性<sup>[84]</sup>.

## 3 结语

本文首先从基于 GIS-RS 的 NPS 模型的理论研究、建模和应用研究进展 3 个方面描述 GIS-RS 技术在 NPS 污染中的应用进展,表明 GIS-RS 在非点源污染模型模拟、预测和管理中的作用日益突出;其次提出 GIS-RS 与 NPS 模型集成时面临的问题,说明 GIS-RS 在 NPS 中应用的局限性,需要深层次挖掘 GIS-RS 在 NPS 中的应用潜力,找到解决问题的办法;最后针对

以上问题提出改善方法,展望基于 GIS-RS 的非点源污染研究未来方向,促进了 NPS 工作的进一步研究,对 NPS 发展有重要意义。

总之,基于 GIS-RS 的 NPS 模型的研究是当前研究 NPS 的主要手段,我国目前尚处于引用国外成熟模型的阶段,对 GIS 和 RS 在 NPS 的研究和控制中的功能开发的还不够深入,因此基于 GIS 和 RS 开发出适合我国的 NPS 模型是未来的一个发展方向。

## 4 参考文献

- [1] 胡雪涛,陈吉宁,张天柱. 非点源污染模型研究[J]. 环境科学, 2002, 23(3): 124
- [2] 贺缠生. 非点源污染的管理及控制[J]. 环境科学, 1998, 19(5): 87
- [3] SHEN Zhenyao, LIAO Qian, HONG Qian, et al. An overview of research on agricultural non-point source pollution modelling in China [J]. Separation and Purification Technology, 2012, 84:104
- [4] Novotny Vladimir. Diffuse pollution from agriculture: a worldwide outlook [J]. Water Science and Technology, 1999, 39(3): 1
- [5] 郝芳华,程红光,杨胜天. 非点源污染模型:理论方法与应用[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2006
- [6] 黄生斌,叶芝菡,刘宝元. 密云水库流域非点源污染研究概述[J]. 中国生态农业学报, 2008(5): 1311
- [7] 王桂苓,马友华,石润圭,等. 巢湖流域种植业面源污染现状与防治对策[C]. 北京:全国农业面源污染综合防治高层论坛, 2008
- [8] 杜芳芳. 湖泊流域土地利用变化与湖泊水质关系研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2011
- [9] Borah D K, Bera M. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of mathematical bases[J]. Transactions of the Asae, 2003, 46(6): 1553
- [10] 黄虹,邹长伟,陈新庚. 中国非点源污染研究评述[J]. 生态环境, 2004(2): 255
- [11] 黄继安,史照良. 探索地理信息智能化处理技术[J]. 现代测绘, 2004(2): 9
- [12] Darcy H. Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon [M]. Paris: Dalmont, 1856
- [13] Gauckler P. Etudes Théoriques et Pratiques sur l'Ecoulement et le Mouvement des Eaux, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences[M]. Paris: Tome 64, 1867: 818-822
- [14] Green W H, Ampt G A. Studies in soil physics[J]. The Journal of Agricultural Science, 1911, 4: 1
- [15] Richards L A. Capillary conduction of liquids through porous media [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 1931, 1(5): 318
- [16] Monteith J L. Evaporation and environment[J]. Symp Soc Exp Biol, 1965, 19: 205
- [17] Temam R. Navier-Stokes equations, theory and numerical analysis [M]. Oxford: Oxford University Press, 2001
- [18] Fick A. On liquid diffusion[J]. Philos Mag J Sci Phil Mag, 1855, 10:31
- [19] Langmuir I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I : solids [J]. Journal of the American Chemical Society, 1916, 38 (11): 2221
- [20] Freundlich H. Über die Adsorption in Lösungen[M]. Z Phys Chem, 1906, 57(A): 385
- [21] Michaelis M I, Menten L. Die Kinetik der Invertinwirkung[J]. Biochem Z, 1913, 49: 333
- [22] Monod J. The Growth of Bacterial Cultures[J]. Annual Review of Microbiology, 1949, 3: 371
- [23] Knisel W G. CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems[R]. USA: USDA Conservation Research Report, 1980(26):640
- [24] Leonard R A, Waughope R D. CREAMS: a field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems[R]. USA: USDA Conservation Research Report, 1980(26):640
- [25] Nernst W. Obituary notices of fellows of the royal society[J]. Royal Society, 1955, 4(11):101
- [26] Burges S J, Lettenmaier D P. Probabilistic methods in stream quality management [J]. Water Resources Bulletin, 1975, 11(1):115
- [27] Driscoll E D, Toro D M D, Thomann R V. A statistical method for the assessment of urban stormwater[M]. Washington: Environmental Protection Agency, Water Planning Division, Nonpoint Sources Branch, 1979
- [28] Beasley D B, Huggins L F, Monke E J. ANSWERS: a model for watershed planning[J]. Transactions of the Asae, 1980, 23(4): 938
- [29] Young R A, Onstad C A, Boschet D D, et al. AGNPS: a nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds [J]. Soil and Water Conservation, 1989, 44(2): 168
- [30] Johanson R C, kittle J L. Design programming and maintenance of HSPF [J]. Technical Topics in Civil Eng, 1983, 109(1): 41
- [31] Williams J R. The EPIC model[M]. Temple: USDA-ARS Grassland Soil and Water Research Laboratory, 1997
- [32] Dikshit A, Loucks D. Estimating non-point pollutant

- loadings-I: a geographical-information-based non-point source simulation model[J]. Journal of Environmental Systems, 1996, 24(4): 395
- [33] Christiaens K, Feyen J. Analysis of uncertainties associated with different methods to determine soil hydraulic properties and their propagation in the distributed hydrological MIKE SHE model[J]. Journal of Hydrology, 2001, 246(14): 63
- [34] Leonard R, Knisel W, Still D. GLEAMS: groundwater loading effects of agricultural management systems[J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30(5): 1403
- [35] 卞毓明, 候树雄, 蒋得江. 新安江—实时校正模型: 龙羊峡水库入库洪水预报模型[J]. 人民黄河, 1986(3): 12
- [36] Arnold J G, Srinivasan R, Muttiah R S, et al. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model Development[J]. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 1998, 34(1): 73
- [37] Ascough J C II, Baffaut C, Nearing M A, et al. The WEPP watershed model. I: hydrology and erosion[J]. Transactions of the ASAE, 1996, 40(4): 921
- [38] Williams J R, Nicks A D, Arnold J G. SWRRB, a simulator for water resources in rural basins[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1985, 111(6): 970
- [39] Whittemore R C. The BASINS model [J]. Water Environment Technology, 1998, 10(12): 57
- [40] Cronshey R G, Theurer F G. AnnAGNPS-Non Point Pollutant Loading Model [C]. Las Vegas, Nevada: Proceedings First Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, 1998: 19-23
- [41] 高龙华, 张行南. RS 和 GIS 支持下农业非点源污染模型研究评述[J]. 中国水土保持, 2005(11): 36
- [42] 董维红. 我国农村水环境非点源污染研究进展[J]. 世界地质, 2002(1): 57
- [43] 朱萱, 鲁纪行, 边金钟, 等. 农田径流非点源污染特征及负荷定量方法探讨[J]. 环境科学, 1985(5): 6
- [44] 温灼如, 苏逸深, 刘小婧, 等. 苏州水网城市暴雨径流污染的研究[J]. 环境科学, 1986, 7(6): 2
- [45] 李怀恩, 蔡明. 非点源营养负荷——泥沙关系的建立及其应用[J]. 地理科学, 2003(4): 460
- [46] 蔡明, 李怀恩, 庄咏涛, 等. 改进的输出系数法在流域非点源污染负荷估算中的应用[J]. 水利学报, 2004(7): 40
- [47] 蔡明, 李怀恩, 庄咏涛. 估算流域非点源污染负荷的降雨量差值法[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005(4): 102
- [48] 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(3): 375
- [49] 李怀恩. 估算非点源污染负荷的平均浓度法及其应用[J]. 环境科学学报, 2000(4): 397
- [50] 李家科, 李怀恩, 赵静. 支持向量机在非点源污染负荷预测中的应用[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2006(6): 756
- [51] 李家科, 李怀恩, 李亚娇. 偏最小二乘回归模型在非点源负荷预测中的应用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(4): 218
- [52] 李家科, 李怀恩, 沈冰, 等. 基于自记忆原理的非点源污染负荷预测模型[J]. 农业工程学报, 2009(3): 28
- [53] 李家科, 李亚娇, 李怀恩, 等. 非点源污染负荷预测的多变量灰色神经网络模型[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2011(3): 229
- [54] 雷秋良, 张继宗, 岳勇, 等. GIS 技术在非点源污染研究中的应用进展[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 687
- [55] 施为光. 邛海非点源污染及模型参数的彩红外遥感航片率定[J]. 重庆环境科学, 1994(4): 30
- [56] 朱华. 基于遥感和 GIS 的水环境非点源污染研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2005
- [57] Ning S K, Chang N B, Jeng K Y, et al. Soil erosion and non-point source pollution impacts assessment with the aid of multi-temporal remote sensing images[J]. Journal of Environmental Management, 2006, 79(1): 88
- [58] 高龙华. 遥感和 GIS 支持下流域非点源污染模型研究[D]. 南京: 河海大学, 2006
- [59] 万兴, 万金保, 赵晋. 基于遥感技术的流域非点源污染研究[J]. 水资源保护, 2006(4): 62
- [60] 王雪蕾, 杨胜天, 智泓, 等. 官厅水库库滨带非点源污染控制效应的遥感分析[J]. 环境科学学报, 2007(2): 304
- [61] Lee M S, Park G A, Park M, et al. Evaluation of non-point source pollution reduction by applying Best Management Practices using a SWAT model and QuickBird high resolution satellite imagery[J]. Journal of Environmental Sciences-China, 2010, 22(6): 826
- [62] 弥艳. 基于 3S 技术的艾比湖流域农业非点源污染对水环境的影响研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2010
- [63] 张秋玲. 基于 SWAT 模型的平原区农业非点源污染模拟研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010
- [64] Chhabra A, Manjunath K R, Panigrahy S. Non-point source pollution in Indian agriculture: Estimation of nitrogen losses from rice crop using remote sensing and GIS [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2010, 12(3): 190
- [65] 范建荣, 王念忠, 陈光, 等. 东北地区水土保持措施因子研究[J]. 中国水土保持科学, 2011(3): 75
- [66] 齐述华, 蒋梅鑫, 于秀波. 基于遥感和 ULSE 模型评价 1995~2005 年江西土壤侵蚀[J]. 中国环境科学, 2011(7): 1197
- [67] 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

- [68] Haith D A. Land Use and Water Quality in New York Rivers[J]. Environ Eng Div, ASCE, 1976, 102(1):1
- [69] Whipple W, Hunter Jr, Hunter J V. Nonpoint sources and planning for water pollution control [J]. Water Pollution Control Federation, 1977, 49(1): 15
- [70] Mishra A, Kar S, Raghwanshi N S. Modeling nonpoint source pollutant losses from a small watershed using HSPF model [J]. Journal of Environmental Engineering-Asce, 2009, 135(2): 92
- [71] Chinkuyu A, Meixner T, Gish T, et al. Prediction of pesticide losses in surface runoff from agricultural fields using GLEAMS and RZWQM[J]. Transactions of the Asae, 2005, 48(2): 585
- [72] HE Changsheng, SHI Chang-gan, YANG Chang-chun, et al. A Windows-based GIS-AGNPS interface [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2001, 37(2): 395
- [73] Paniconi, C, Kleinfeldt S, Deckmyn J, et al. Integrating GIS and data visualization tools for distributed hydrologic modeling [J]. Transactions in GIS, 1999, 3(2): 97
- [74] de Paz J M, Ramos C. Linkage of a geographical information system with the gleams model to assess nitrate leaching in agricultural areas[J]. Environmental Pollution, 2002, 118(2): 249
- [75] Ning S K, Jeng K Y, Chang N B. Evaluation of non-point sources pollution impacts by integrated 3S information technologies and GWLF modelling [J]. Water Science and Technology, 2002, 46(6/7): 217
- [76] Deslandes J, Michaud A R, Bonn F, et al. Use of GIS and remote sensing to develop indicators of phosphorus non-point source pollution in the Pike River basin[M]. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2004, 271-290
- [77] Masood Bin A, Hassan H, Pandit A K, et al. Modeling the non-point source pollution load in the catchment using remote sensing and GIS: a case study of Hokarsar wetland [J]. Kashmir, Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B-Biological Sciences, 2008, 78: 145
- [78] 胡远安, 程声通, 贾海峰, 等. 遥感与 GIS 辅助下的非点源模型空间参数提取[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(10): 7
- [79] 张晶楠. AVSWAT 模型在河北省平原区的水文模拟研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2011
- [80] 何泓杰. 基于 HSPF 模型的流溪河流域非点源污染负荷估算[D]. 广州: 华南理工大学, 2011
- [81] 徐恺, 苏华, 杨静学, 等. 基于多源数据 AnnAGNPS 西枝江流域的污染模拟研究[J]. 农业环境与发展, 2012(1): 52
- [82] 郝芳华, 陈立群, 刘昌明, 等. 降雨的空间不均性对模拟产流量和产沙量不确定的影响[J]. 地理科学进展, 2003(5): 446
- [83] 朱会义, 贾绍凤. 降雨信息空间插值的不确定性分析[J]. 地理科学进展, 2004(2): 34
- [84] 廖谦, 沈珍瑶. 农业非点源污染模拟不确定性研究进展[J]. 生态学杂志, 2011(7): 1542

## NONPOINT SOURCE POLLUTION MODELS BASE ON GIS AND RS: A REVIEW

MAO Yuna<sup>1)</sup> YE Aizhong<sup>1)</sup> WANG Xuelei<sup>2)</sup> ZHANG Yongyong<sup>3)</sup>

(1)College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

2)Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, 100094, Beijing, China;

3)Key Laboratory of Water Cycle and Related land Surface Processes, Chinese Academy of Sciences, 100101, Beijing, China)

**Abstract** A role of GIS-RS (geographic information system: GIS; remote sensing: RS) in simulation, estimation and management of non-point source pollution had been recognized. Research on non-point source pollution models had become a hot point. History of non-point source pollution models was described. Progress in theory, models and application of these models, problems arisen when GIS-RS was integrated with models were summarized. Future research directions were discussed.

**Key words** nonpoint source pollution models; geographic information system(GIS); remote sensing(RS); review