

文章编号:1672-3031(2011)01-0035-06

## 非点源污染研究综述

曹高明<sup>1,2</sup>, 杜强<sup>1</sup>, 官辉力<sup>2</sup>, 彭文启<sup>1</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院 水环境研究所, 北京 100038; 2. 首都师范大学 资源环境与旅游学院, 北京 100048)

**摘要:** 与点源污染相比, 非点源污染具有随机性、广泛性、滞后性等特点, 其在机理研究和模型模拟上都更加复杂。本文首先对非点源污染的基本概念、特征及其对水环境的影响做了简要的介绍; 然后分别从降雨径流、土壤侵蚀和非点源污染物迁移转化非点源污染发生的3个重要环节对其研究发展历史及现状进行了概述, 并介绍了非点源污染研究与GIS和RS技术的集成发展, 最后探讨了当前非点源污染研究中存在的问题及其发展方向。

**关键词:** 水环境; 非点源污染; 径流; 土壤侵蚀

**中图分类号:** X522

**文献标识码:** A

### 1 研究背景

非点源污染(NPS, Nonpoint Source Pollution)是指溶解的和固体的污染物从非特定的地点, 在降水(或融雪)冲刷作用下, 通过径流过程而汇入受纳水体(包括河流、湖泊、水库和海湾等)并引起水体的富营养化或其它形式的污染。据20世纪90年代初统计, 全球30%~50%的陆地面积受到非点源污染的影响<sup>[1]</sup>。美国、日本等国家研究表明, 即使点源污染得到全面控制以后, 江河水质的达标率仅为65%, 湖泊水质的达标率为42%, 在美国, 非点源污染量已经占到污染总量的2/3以上, 其中农业非点源贡献率更是达到75%以上<sup>[2]</sup>。根据国内的统计数据, 北京密云水库、天津于桥水库、安徽巢湖等水域, 非点源污染的比例已经超过了点源污染, 其中农业非点源污染对非点源污染量的贡献最大<sup>[2]</sup>。因此, 非点源污染目前已经成为影响水体环境质量的重要污染类型。

### 2 非点源污染的特征及影响

**2.1 非点源污染的特征** 流域非点源污染主要来自于土壤侵蚀、农药和化肥的施用、农村家畜粪便及垃圾、农田污水灌溉、城镇地表径流和大气干湿沉降。与点源污染相比, 非点源污染起源于分散的、多样的地区, 地理边界和发生位置难以准确界定, 随机性强、形成机理复杂、涉及范围广、控制难度大<sup>[3]</sup>。其主要具有以下特点: (1)随机性和不确定性。非点源与降雨、土地利用、土壤结构、农作物种植、气候气象、地质地貌、人类活动等多个因素都有密切关系, 这些因素的随机性和不确定性决定了非点源污染的形成具有较大的随机性; (2)广泛性。由于人类活动的分散性和降雨的普遍性, 决定非点源在空间分布上具有广泛性; (3)滞后性。大量的农药化肥的施用是造成非点源污染最重要的原因之一, 但只有在径流的驱动下, 才会将地表长期积累的化学物质带入水体, 造成水环境的污染, 所以非点源污染在时间上具有滞后性; (4)研究治理难度大。由于非点源污染的上述几个特性, 所以在研究非点源污染机理过程和控制非点源污染方面具有较大的难度, 传统的点源污染末端治理技术很难有效的控制非点源污染<sup>[2-3]</sup>。

**2.2 非点源污染对水环境的影响** 非点源污染对受纳水体的影响是多方面的, 主要集中在以下几个

收稿日期: 2011-01-20

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项—流域水生态承载力与总量控制技术课题(2008ZX07526-004); 国家水体污染控制与治理科技重大专项—辽河流域水质水量优化调配技术及示范研究(2008ZX07208-010)

作者简介: 曹高明(1982-), 男, 博士生, 主要从事水环境非点源污染模型研究。E-mail: caogaoming@gmail.com

方面：(1)增加水体富营养化程度，恶化水质。水体富营养化是指生物所需要的N和P等营养盐大量进入水体，引起藻类大量繁殖、水体溶解氧下降、水质恶化的现象<sup>[4]</sup>；(2)严重威胁地下水。全世界施入土壤中的肥料大约30%~50%经土壤淋溶而进入地下水，而大量的土壤中氮的淋失和下渗，使地下水中硝态氮含量严重超标；(3)水体底泥降低水体的生态功能。水体底泥(沉积物)污染，是世界范围内的一个重要环境问题，水体水质恶化势必破坏水生生物的生存环境。一些有毒有害物质(如重金属或农药的残留物等)进入水体后直接影响水体的生态功能。

### 3 非点源污染主要研究进展

非点源污染的产生是由于降雨在不同的下垫面条件下产生径流，并对土壤产生侵蚀作用，在降雨-径流驱动因子作用下，大量泥沙与附着的氮磷污染物及可溶性氮磷污染物进入水体。所以从非点源产生的机制来看，其主要可分为有3个过程，如图1所示，即径流形成过程、径流冲刷地面形成土壤侵蚀的过程和泥沙及氮磷污染物进入水体的过程。在进行非点源污染机理研究的同时，人们逐渐使用数字模型来描述非点源污染的发生过程，对非点源污染进行定量研究。非点源污染模型也主要包含3个模块：降雨径流模型、土壤侵蚀模型和污染物迁移转化模型。降雨径流过程主要是采用水文模型来进行模拟；土壤侵蚀过程研究伴随水土流失的过程，营养盐中氮磷元素的流失情况；而污染物迁移转化是非点源污染研究中的核心问题，目前研究比较多的是氮磷元素在汇流过程中及河道中的迁移转化规律，很多国内外学者也逐步开始研究农药、杀虫剂的迁移转化规律。由于在进入水体以后，非点源污染物对水体的影响机制与点源相同，因此非点源污染重点的研究内容是污染物由陆地进入水体前的迁移转化过程。

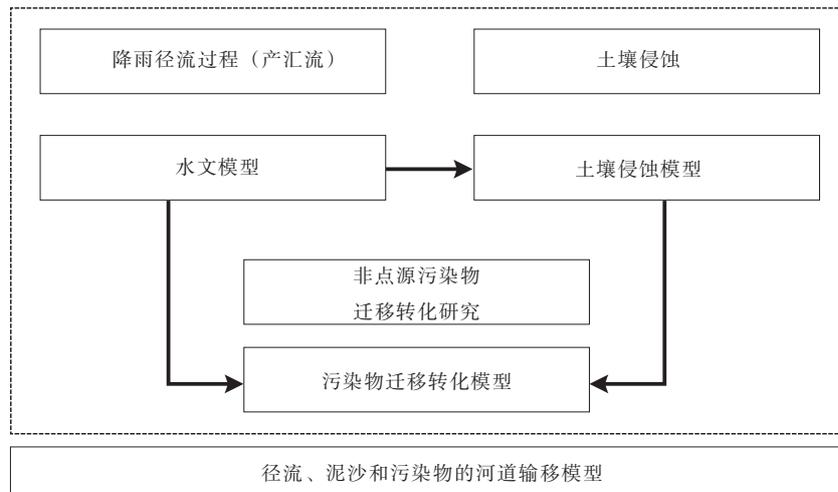


图1 非点源污染发生过程

**3.1 降雨径流过程** 降雨形成的径流是非点源污染物迁移转化的载体。单场暴雨所产生的径流量大小，是进行非点源污染负荷估算的前提条件。但单次暴雨事件并不意味着流域内所有地区都会产生地表径流<sup>[2]</sup>。因此，很多学者从水文学、水动力学角度出发，研究作为暴雨事件响应的径流动力形成的产汇流特征，重点是对其产流条件的空间差异进行研究。

产汇流的理论是19世纪后逐步发展和建立起来的，在20世纪30—70年代之间取得了很多理论上的进展和突破。其中最为典型的是19世纪60年代美国土壤保持局(Soil Conservation Service, SCS)根据3000多份实验资料的数据，提出了SCS-CN(Soil Conservation Service-Curve Number)方法，这是一种用曲线数计算径流量的方法。20世纪60年代，涌现出一大批流域水文模型，其中较为成功的模型是Stanford流域水文模型SWM(Stanford Watershed Model)。该模型可以模拟地面径流的物理过程。HSPF(Hydrological Simulation Program-FORTRAN)也源自SWM，它是一种功能强大、能综合模拟流域

水文和水质的机理模型。

我国在20世纪60年代初期陆续提出了蓄满产流和超渗产流的理论。80年代以来,该理论逐步作为概念模型的重要部分应用于北京、西安和三峡库区进行非点源污染负荷计算<sup>[5-7]</sup>,新安江模型的构建也是基于这套理论。目前,降雨径流研究较为成熟,常采用人工降雨和自然降雨定点监测和模型相结合进行降雨产汇流特征的分析 and 评估<sup>[8]</sup>。

在所有模型中,SCS-CN模型由于适用性广,可操作性较好,模拟结果准确度较高,近年来在国内有大量应用。魏文秋等<sup>[9]</sup>通过改进SCS模型并与遥感结合,来确定模型的土地利用和土壤类型,在安徽城西径流试验站进行了实例研究,结果显示的产流精度令人满意。王腊春等<sup>[10]</sup>用泰森多边形将流域分块,使用TM影像对研究区土地利用类型进行分类,进而确定每种土地利用上的CN值和S值,对浙江溪西流域6次洪水的产流计算结果表明其精度令人满意。贺宝根等<sup>[11-12]</sup>根据实测资料对SCS模型中的两个系数,即前期损失量和径流曲线数予以修正,并对模型进行修正计算,其结果表明模拟径流量非常接近于实际径流量。徐秋宁等<sup>[13-14]</sup>用SCS降雨-径流模型对陕北-渭北多个典型小型集水区降雨径流量进行了分析和计算,他认为SCS模型考虑了径流与土壤特征和土地利用情况关系,非常适合应用于小流域、沟道等小型集水区的径流量计算。王英<sup>[15]</sup>运用黄土高原地区实测降水产流资料对标准SCS-CN模型进行了检验,对径流曲线法进行了改进,提出了一个适应黄土区坡面和流域的降水产流模型,研究结果为该区水资源高效利用、水土流失预报和治理提供重要帮助。

**3.2 土壤侵蚀过程** 土壤侵蚀是农业非点源污染发生的重要组成部分。土壤侵蚀带走的泥沙本身是非点源污染的来源,泥沙中所吸附的各种形态的氮、磷也会给加重受纳水体的污染程度。土壤侵蚀的研究具有很长的历史,但真正从非点源污染角度出发进行土壤侵蚀研究,首推20世纪60年代中后期用于坡地侵蚀模拟估算的通用土壤流失方程(Universal Soil Loss Equation, USLE)<sup>[16]</sup>。该方程考虑了影响土壤侵蚀的六大因素:降雨因子、土壤可蚀性因子、坡长因子、坡度因子、作物因子和管理措施因子。后来不断对USLE进行了修改,包括各因子值计算方式的改变和细化,形成了RUSLE和MUSLE。通用土壤流失方程中参数具有物理意义,它被多个机理或者半机理模型采用作为模拟土壤侵蚀的子模块。如CREAMS模型采用USLE方程,AGNPS和SWAT采用的MUSLE方程,AnnAGNPS运用的是RUSLE土壤侵蚀方程。由于USLE模型本身的不足,加上对土壤侵蚀机理过程更深入的研究,20世纪80年代初,出现了从机理过程探索土壤侵蚀的WEPP(Water Erosion Prediction Project)模型。但由于该模型需要较多的参数支持,应用受到限制。目前国际上用于模拟估算土壤侵蚀使用最广泛的仍然是USLE及其修正模型。

我国土壤流失定量监测始于20世纪40年代,先后在天水等地建立水土保持试验站,对水土流失进行定位观测。50年代初,黄秉维研究了陕甘黄土地区影响土壤侵蚀量的环境因素及方式<sup>[17]</sup>,其后,朱显谟对黄土区土壤侵蚀特征、空间分异规律、影响因素等进行了研究和分析<sup>[18]</sup>,从而为我国土壤侵蚀定量研究开拓了发展方向。1953年刘善建根据10年的径流小区观测资料,首次提出了计算年度坡面侵蚀量的公式,从而开启了我国土壤侵蚀定量模型研究的序幕<sup>[19]</sup>。早期土壤侵蚀定量研究侧重于野外径流小区的试验,观测相同下垫面条件下不同降雨的侵蚀,或者相同降雨条件下不同下垫面的侵蚀。后来逐渐发展到室内的试验研究,利用人工降雨开展单因素侵蚀相关研究,如降水、坡度、坡长、坡向、植被、土壤质地等单要素与侵蚀量的关系,并建立不同形式的土壤侵蚀预报方程,从而也就产生了土壤侵蚀定量经验模型的雏形。20世纪70年代以后,我国开始土壤侵蚀经验模型的研究,研究了降雨特征、雨滴动能、溅蚀及降雨径流侵蚀力、植被盖度、植被截留、土壤可蚀性、微地貌形态等因素与侵蚀量的关系<sup>[20-21]</sup>。初步形成了以小流域为单元进行水土流失研究的格局,从而也奠定了我国以小流域为单元进行水土保持治理的初期思路。

20世纪80年代,通用土壤流失方程开始引进和应用于我国,对我国土壤侵蚀经验模型的研究产生重大影响。许多学者结合我国土壤侵蚀特点,基于地面径流小区实测资料,对通用土壤流失方程进行实验校正。其中付伟以晋西离石王家沟流域为试验区,建立了适合该区水土流失的USLE修正方程<sup>[22-23]</sup>。我国在基于坡面或径流小区等尺度单元对土壤侵蚀进行了大量研究,着重研究侵蚀量与其影

响因子之间的定量关系,并建立了许多区域性(径流小区或小流域尺度)土壤侵蚀经验方程,取得了一系列研究成果。

20世纪90年代到本世纪初,对各种土地利用类型的土壤侵蚀机理上也进行了系统深入研究。谢树楠等将坡面产沙量与雨强、坡长、坡度、径流系数和泥沙中数粒径间的函数关系,建立了具有一定理论基础的流域侵蚀模型<sup>[24]</sup>,取得了较为理想的土壤侵蚀模拟效果。汤立群建立了适合于中小流域的包括径流模型和泥沙模型两部分的土壤侵蚀模型<sup>[25-26]</sup>。蔡强国等也建立了具有一定物理基础的侵蚀-输移-产沙过程的小流域次降雨产沙模型。

**3.3 污染物迁移转化规律** 非点源污染物迁移是指非点源污染物在外力作用下(降雨、灌溉等)从土壤圈向水圈扩散的过程。从氮、磷元素角度考虑,主要包括氮磷元素的地表流失和氮素地下渗漏两个大的机理过程。其中,氮磷元素地表流失机理研究,国内外从农田降雨径流氮磷流失与农田耕作方式、作物生长季节、降雨特征、土地利用、地形状况、植被覆盖等方面进行了一系列的研究工作。

污染物的迁移过程不仅与水文条件和侵蚀条件有关,还与污染物在土壤中的物理、化学形态以及分布等密切相关。而污染物各物理、化学形态之间的转化以及在土壤中的分布的变化过程是十分复杂的,国内外大量学者对不同土地利用下氮磷流失的机理进行了深入的研究。Jordan等<sup>[27]</sup>在1997年通过做氮素排出量与农田所占比例的回归模型估算表明:农田氮素排出速率为 $18 \text{ kg}\cdot\text{N}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ,而非农田氮素排出速率仅为 $2.9 \text{ kg}\cdot\text{N}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ;杨斌等<sup>[28]</sup>在1999年以实验的方式探讨了连云港地区农田氮磷元素的流失的规律,其中氮素的淋溶损失为 $9.8\%\sim 35\%$ ,稻田施肥后,如果24h内排水,氮素损失 $12\%\sim 21\%$ ,磷素对水环境的影响主要是径流携带;窦培谦等<sup>[29]</sup>于2005年研究了北京密云地区土地利用方式的差异对径流中氮磷的浓度的影响因素,有径流中总磷浓度变化趋势:果园>标准小区>农地>荒草坡>林地,总氮浓度变化趋势:林果>地荒>草坡>农地>标准>小区林地;朱海洋等<sup>[30]</sup>在2007—2008年综合2年的试验结果,针对丘陵区稻田氮磷输出进行了定量的研究,并提出了适宜的生态治理技术模式;罗璇等<sup>[31]</sup>对丹江口库区的胡家山小流域不同土地利用氮磷输出的年季变化情况进行了定量研究,结果表明在不同时间尺度上,土地利用结构对氮素输出浓度影响有所不同。年度上,对氮素输出影响最大的是旱地,季节上,四季对氮素输出影响最大的依次是旱地、居民地、居民地、旱地;土地利用结构对氮素输出浓度的影响受到降雨、气温、人为等因素的作用。

从模型研究的角度考虑,非点源模型对污染物迁移的模拟可分为2类:一类是不考虑污染物的平衡过程,认为污染物在土壤中的含量是恒定的,典型的有早期的AGNPS模型和CNPS模型等。这类模型往往只将污染物根据物理形态划分为溶解性和非溶解性两种,根据土壤侵蚀量和暴雨径流量来计算两种形态污染物的负荷;另一类是考虑污染物平衡过程,即土壤中污染物的状态和含量是受到各种过程影响的。如CREAMS模型在对氮的模拟中,考虑了地表径流流失、入渗淋失、化肥输入等物理过程,有机氮矿化、反硝化等化学过程以及作物吸收等生物过程,氮除了具有溶解和非溶解两种物理状态外,还分为有机氮、作物氮和硝酸盐氮3种化学状态。EPIC和SWRRB中则增加了氮的生物固定、无机氮向有机氮的转化以及溶解性氮随侧向壤中流的迁移等过程,有机氮又被划分为活性(active)有机氮和惰性(stable)有机氮两种状态。SWAT模型在EPIC基础上又增加了对氨态氮挥发过程的模拟。而HSPF对氮平衡的模拟更为复杂,有机氮也被划分为溶解性和非溶解性两类,并且通过吸附与解吸过程相互转化。

## 4 非点源污染研究的发展趋势

非点源污染机理研究和过程模拟还存在很多问题。首先是非点源污染发生很多机理过程尚不能完全明确。很多机理模型虽然可以对非点源污染过程进行近似的模拟,但这些模型都是基于已有的研究成果,仍然具有一定的局限性。其次,非点源污染研究中所涉及的3个重要的环节(产汇流、土壤侵蚀和污染物迁移转化)在自然界中是一个系统过程,而在模型中分别使用3个独立的模块进行模拟,并通过特定模块进行连接,这本身就影响了模拟的精确程度。再次,由于非点源污染在时间上

具有非连续性和滞后性，在空间上具有广泛性和分布不均匀性的特点，地理时空的复杂性非常直接的影响着非点源污染模拟的准确度，所以更多的考虑引入GIS和RS手段对非点源污染进行研究是大势所趋，我国目前在这方面的研究稍显滞后。最后是非点源污染模拟尺度问题，非点源污染模拟的尺度不断增大，而已有的非点源污染物在土壤中的监测数据多为小尺度或更微观的尺度获得的。小尺度建立的物理基础的水文模型，应用到大空间尺度上，存在尺度外延的准确性问题。

当前非点源污染研究的发展趋势主要集中在以下几个方面：(1)氮磷迁移转化机理研究。当前，虽然氮磷元素在土壤和水体迁移转化研究有一定的研究成果，但人们对土壤和坡面产流中各形态氮磷来源的定量分析还做的不够，各形态氮磷的转化机理尚不完全明确。对氮磷元素来源的进行定量研究有助于直接了解非点源污染的根源，这一部分也一直是学者们研究的重点和热点；(2)非点源污染的不确定性研究。非点源污染的研究和模拟存在很大的不确定性。这种不确定性主要体现在以下4个方面：降水、温度、蒸发和土壤物理化学属性等时间和空间数据数据具有随机的或系统的误差；径流、地下水水位、农业灌溉、含沙量等历史记录和资料的随机或系统误差；非最优参数值所导致的误差；不完整或有偏差的模型结构导致的误差。所以如何分析非点源污染的不确定性，提高模型模拟精度也是一个重要的研究方向；(3)非点源污染研究与GIS和RS技术的整合。首先在数据共享层面上，我国非点源污染模拟在数据的获取和数据的标准化上都存在较大的问题，具体表现为非点源污染的空间数据采集没有统一的标准和规范，所以非点源污染模拟的标准化问题仍然是一个重要的研究内容。其次，采用遥感手段进行土壤侵蚀、土地利用相关参数的反演目前已经有人做出了一些尝试性的工作，如何使遥感数据为模型提供参数是当前一个重要的研究内容，这对在数据缺乏区域进行非点源污染研究具有相当重要的意义；最后如何将GIS的制图、空间分析、三维展示方面的优势更好与非点源污染研究相结合，也是未来的一个重要研究点。

综上所述，当前发达国家对非点源污染的研究已经进入成熟期，对非点源污染发生的机理都有了很深入的了解，模型模拟也取得了不错的效果，美英等研究人员目前已将更多的研究精力投入到非点源污染的最佳管理措施(BMPs)的研究上。当前我国非点源污染的研究已经进入了一个比较稳定的阶段，研究人员通过大量试验、模型的研究，希望对我国氮磷污染物产生的机理过程有更明确的认识。国外模型大量应用本身也提高了我国非点源污染的研究水平，但各种模型参数的获取方式在国内仍没有一个统一的标准。所以通过对非点源污染机理的深入研究，开发出适合我国的非点源污染模型仍然是当务之急。

## 参 考 文 献：

- [ 1 ] Lovejoy S B, Lee J G, Randhir T O . Research needs for water quality management in the 21st century: A spatial decision support system[J] . J Soil and Water Cons, 1997, 52(1): 19-23 .
- [ 2 ] 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.
- [ 3 ] 熊丽君.基于GIS的非点源污染研究[D].南京:河海大学,2004.
- [ 4 ] 周静波,张宗应.我国水体富营养化的产生根源与治理对策[J].安徽农业科学,2009(21): 10126-10128.
- [ 5 ] 夏青,廖庆宜.河流DO模型研究[J].环境科学学报,1985(3): 266-275.
- [ 6 ] 李怀恩.水文模型在非点源污染研究中的应用[J].陕西水利,1987(3): 18-23.
- [ 7 ] 陈西平.三峡库区农田径流污染情势分析及对策[J].环境污染与防治,1992(5): 31-34.
- [ 8 ] 黄满湘,章申,唐以剑,等.模拟降雨条件下农田径流中氮的流失过程[J].土壤与环境,2001(1): 6-10.
- [ 9 ] 魏文秋,谢淑琴.遥感资料在SCS模型产流计算中的应用[J].环境遥感,1992(4): 243-250.
- [ 10 ] 王腊春,熊江波.用遥感资料建立分块产流模型[J].地理科学,1997(1): 77-81.
- [ 11 ] 贺宝根,周乃晟,胡雪峰,等.农田降雨径流污染模型探讨——以上海郊区农田氮素污染模型为例[J].长江流域资源与环境,2001(2): 159-165.
- [ 12 ] 贺宝根,周乃晟,高效江,等.农田非点源污染研究中的降雨径流关系——SCS法的修正[J].环境科学研究,2001(3): 49-51.

- [ 13 ] 徐秋宁, 马孝义, 安梦雄, 等. SCS模型在小型集水区降雨径流计算中的应用[J]. 西南农业大学学报, 2002(2): 97-100.
- [ 14 ] 徐秋宁, 马孝义, 娄宗科, 等. 小型集水区降雨径流计算模型研究[J]. 水土保持研究, 2002(1): 139-142.
- [ 15 ] 王英. 径流曲线法(SCS-CN)的改进及其在黄土高原的应用[D]. 北京: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2008.
- [ 16 ] Wischmeier W, Smith D. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning[M]. Washington, DC: US Department of Agriculture, 1978.
- [ 17 ] 黄秉维. 陕甘黄土区域土壤侵蚀的因素和方式[J]. 地理学报, 1953(2): 163-171.
- [ 18 ] 朱显谟. 黄土高原地区植被因素对于水土流失的影响[J]. 土壤学报, 1960, 8(2): 110-120.
- [ 19 ] 刘善建. 天水水土流失测验的初步分析[J]. 科学通报, 1953(12): 59-65.
- [ 20 ] 李勉, 李占斌, 丁文峰, 等. 黄土坡面细沟侵蚀过程的REE示踪[J]. 地理学报, 2002(2): 218-223.
- [ 21 ] 李勉, 李占斌, 刘普灵. 中国土壤侵蚀定量研究进展[J]. 水土保持研究, 2002(3): 243-248.
- [ 22 ] 付炜. 黄土地区通用土壤流失方程模型研究[J]. 中国环境科学, 1997(2): 23-27.
- [ 23 ] 付炜. 土壤侵蚀成因机制分析与模拟[J]. 干旱区研究, 1997(4): 44-51.
- [ 24 ] 谢树楠, 宋根培. 水库泥沙冲淤计算的数学模型[J]. 水利学报, 1988(9): 41-47.
- [ 25 ] 汤立群, 陈国祥. 流域尺度与治理对产流模式的影响分析研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996(1): 22-28.
- [ 26 ] 汤立群. 流域产沙模型的研究[J]. 水科学进展, 1996(1): 47-53.
- [ 27 ] Jordan T, Correll D, Weller D. Relating nutrient discharges from watersheds to land use and streamflow variability[J]. Water Resources Research, 1997, 33(11): 2579-2590.
- [ 28 ] 杨斌, 程巨元. 农业非点源氮磷污染对水环境的影响研究[J]. 江苏环境科技, 1999(03): 19-21.
- [ 29 ] 窦培谦, 王晓燕, 秦福来, 等. 农业非点源氮磷流失规律研究[J]. 安徽农学通报, 2005(04): 151-153.
- [ 30 ] 朱海洋, 郑世宗, 徐海波. 丘陵区稻田氮磷面源污染生态治理技术试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2009(05): 49-51.
- [ 31 ] 罗璇, 史志华, 尹炜, 等. 小流域土地利用结构对氮素输出的影响[J]. 环境科学, 2010(01): 58-62.

## A review of nonpoint source pollution study

CAO Gao-ming<sup>1, 2</sup>, DU Qiang<sup>1</sup>, GONG Hui-li<sup>2</sup>, PENG Wen-qi<sup>1</sup>

(1. Department of Water Environment, IWHR, Beijing 100038, China;

2. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Compared with point source pollution, NPS (non-point source pollution) has the characteristics of randomness, broadness, hysteresis and so on. It is more difficult and complex in mechanism research and model simulation. The basic concepts, characteristics and impact on water environment of NPS will be given in the first part of this paper; and then the progress of three important parts of NPS (rainfall runoff, soil erosion and pollutants migration and transformation) will be introduced. And the integration of GIS and RS technology with NPS study will be summarized. Finally, the problem of NPS and its study trends will be listed.

**Key words:** water Environment; NPS; runoff; soil erosion

(责任编辑: 李 琳)