

非点源污染研究进展及趋势分析

樊娟¹, 刘春光¹, 石静¹, 王春生², 赵乐军³

(1. 南开大学环境科学与工程学院, 环境污染过程与基准教育部重点实验室, 天津市城市生态环境修复与污染防治重点实验室, 天津 300071; 2. 天津市北大港水库管理处, 天津 300280; 3. 天津市市政工程设计研究院, 天津 300051)

摘要: 利用主要数据库检索了最近 10 a (1998—2007) 非点源污染研究的相关文献, 分析了国内外研究论文数量的变化趋势。结果表明, 国内外关于非点源污染的研究呈逐年增加的趋势, 特别是中文文献在 2000 年以后增加明显。针对非点源污染研究的三个方面——调查评价、模型研究和防治技术的研究进展进行了逐项分析。对国内外非点源污染研究的侧重点和深度进行了比较, 分析了我国非点源污染研究的不足, 展望了未来非点源污染研究的发展趋势。

关键词: 非点源; 水污染; 调查评价; 模型; 污染防治

中图分类号: X22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)04-1306-06

Advances and Tendencies of the Study on Non-Point Source Pollution

FAN Juan¹, LIU Chun-guang¹, SHI Jing¹, WANG Chun-sheng², ZHAO Le-jun³

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Key Laboratory of Pollution Processes and Environmental Criteria, Ministry of Education, Tianjin Key Laboratory of Environmental Remediation and Pollution Control, Tianjin 300071, China; 2. Administration of Bei-Da-Gang Reservoir, Tianjin 300280, China; 3. Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute, Tianjin 300051, China)

Abstract: To assist with the understanding of the advances of the study on non-point source (NPS) pollution, several main databases were used to search for the related papers during 1998 to 2007. According to the 910 papers found in this study, 558 papers were written in Chinese and the others were written in English. The results show that the number of the papers on NPS pollution increases gradually at home and abroad. After 2000, the number of the papers on NPS increases more rapidly, especially for those written in Chinese. Three main aspects of NPS pollution: investigation and estimation, model study, and pollution control technology were analyzed respectively. Differences of the focuses on NPS between Chinese and overseas researchers were compared. The deficiencies of the study on NPS in China were pointed out, and the tendencies of the study on NPS were discussed.

Keywords: non-point source; water pollution; investigation and estimation; model; pollution control

地表水污染可能来自点源和非点源。点源污染是指通过排放口或管道排放的污染, 包括工业废水、城市生活污水、污水处理厂出水及其他固定排放源。非点源(non-point source, NPS)污染是相对点源而言的, 在我国又称为“面源”。其排放源是广域的、分散的、不连续的, 包括大气沉降、地表径流、地下渗流等。由于

点源污染易于识别和治理, 在世界上大部分国家已得到了较好的控制。与点源污染相比, 非点源污染具有时空范围大、不确定性突出、成分和产生的过程复杂等特点, 因而防治起来十分困难^[1]。

研究表明, 非点源污染是导致地表水污染的主要原因, 其中又以农业非点源污染贡献率最大^[2]。非点源污染物不仅会随地表和地下径流进行迁移和转化, 而且其迁移过程伴随着一系列的物理、化学和生物转化^[3]。特别是对于农业非点源, 由于其迁移过程的复杂性、污染物种类的庞大和农业保护手段的落后, 使得相关研究面临很大困难, 因此一直是国内外研究的热点。

国外非点源污染研究起步于 20 世纪 60 年代。美、英、日等发达国家率先开展相关研究, 20 世纪 70

收稿日期: 2008-05-07

基金项目: “水体污染控制与治理”科技重大专项“海河流域典型城市水环境整治技术与综合示范”; 天津市水利局科技项目“北大港水库生态环境现状、趋势及保护对策研究”

作者简介: 樊娟(1984—), 女, 硕士研究生, 主要从事水污染控制及生态修复技术方面的研究。

通讯作者: 刘春光 E-mail: liuchunguang@nankai.edu.cn

年代以后在世界各地逐渐受到重视;20 世纪 80 年代,农业非点源污染研究得到迅速发展;20 世纪 90 年代,新的非点源污染物成为研究热点,与此同时,数学模型逐渐应用于非点源污染的研究,并逐渐成为一个重要的领域。在各类相关研究中,尤以美国研究历史较长^[4]。总体上看,目前的研究主要集中在非点源污染现状调查与污染负荷评价、模型研究以及相关的防治技术等几方面。我国的非点源污染研究起步相对较晚,理论深度和创新性都与国外存在一定差距。

近年来,我国非点源污染相关文献数量呈逐年递增的趋势。然而,目前存在的一个重要问题是,由于对国内外(特别是国外)研究动态掌握不足,不少研究工作创新性不够,重复性工作较多,不仅浪费了大量人力和财力,而且对我国非点源污染防治的进展十分不利。针对以上问题,本研究查阅了最近 10 a 非点源污染的相关文献,采用统计分析和讨论相结合的方法,对国内外相关研究进行总结和分析,以期为非点源污染的深入研究提供参考。

1 研究方法

本文使用了 4 个国内最常用的英文文献检索系统,分别为“SCI”、“ScienceDirect”、“Springer Link”和“PQDD”;使用了 2 个中文文献检索系统,分别为“中国期刊全文数据库(CNKI)”和“中文期刊全文库(维普)”。使用英文关键词为“nonpoint”和“non-point”;使用中文关键词为“非点源”和“面源”。检索范围为题名(title)和关键词(keywords);检索时限为 1998 年 1 月—2007 年 12 月。在此基础上,检索到有效英文文献 352 篇(为方便起见,以下简称“国外文献”),中文文献 558 篇(新闻报道及科普类除外,以下简称“国内文献”)。因多数数据库仅收录了一小部分 2008 年的文献,故在此不予讨论。

2 结果分析

2.1 总体趋势

根据本研究获得的 900 多篇文献。由图 1 可以看出,2000 年以前,关于非点源污染的中文文献较少,此后发表数量迅速增加,直至 2006 年达到顶峰。相比之下,英文文献数量一直比较稳定,近几年略有上升趋势。2007 年中文文献数量比 2006 年下降了约 65%,笔者认为可能有三方面原因:一是 2006 年不少与非点源污染有关的“十五”科技项目结题,促进了一大批数据的整理和发表;二是某一研究领域过热的出

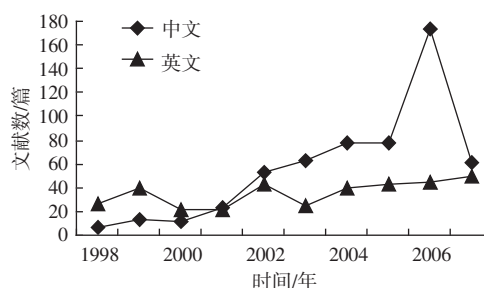


图 1 国内外非点源污染相关文献数量变化

Figure 1 Number of papers on NPS written in Chinese and English respectively

现的自然“降温”;三是电子数据库对某些期刊论文的收录有滞后效应。总体上看,无论是国内和国外,非点源污染的研究呈增加趋势。

目前非点源污染研究可以简单地归纳为调查与评价、模型研究和防治技术三方面。从表 1 可以看出,国内文献对调查及评价类的研究较多,占文献总量的 41%。其次为防治技术的研究,占文献总数的 35%;模型所占比重最小,占文献总数的 24%。不同的是,国外偏重于模型的开发与防治技术的研究,调查及评价类研究则相对较少,从图 2、图 3 可明显看出。

表 1 不同类型非点源相关论文数量统计

Table 1 Papers on different aspects of NPS pollution

分类	中文(篇)	比例(%)	英文(篇)	比例(%)
调查评价	230	41	104	30
模型研究	135	24	132	38
防治技术	193	35	116	32
论文总数	558	100	352	100

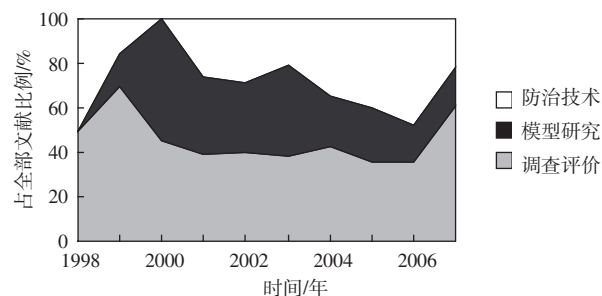


图 2 不同类型非点源污染论文数量比例及变化(中文)

Figure 2 Percentage of Papers on different aspects of NPS pollution (in Chinese)

2.2 调查评价

总体上看,目前国内对非点源污染的研究仍主要偏重于定性调查与分析(表 1)。根据最近 10 a 的文

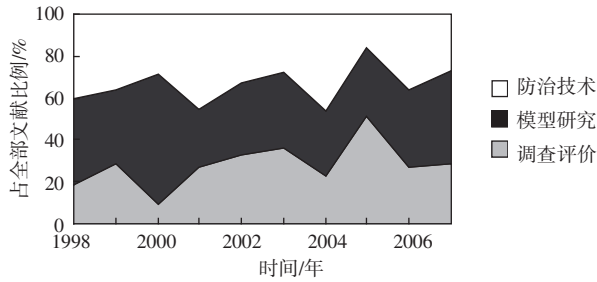


图3 不同类型非点源污染论文数量比例及变化(英文)

Figure 3 Percentage of Papers on different aspects of NPS pollution (in English)

献,国内在这方面的研究一直呈迅速上升趋势(图4)。相比之下,国外发表相关文献数量波动幅度较大,但整体上也呈上升趋势。由此可见,非点源污染的防治受到越来越多的关注,数据资料调查作为污染防治的基础,在国内外研究中都占有较大比重。

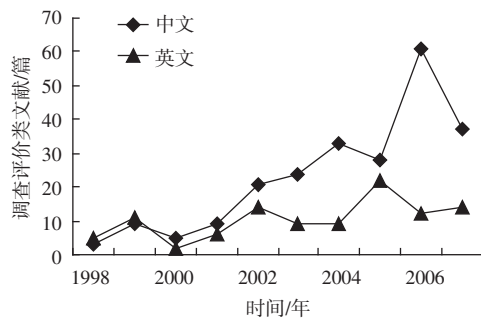


图4 调查及评价类论文数量变化

Figure 4 Number of papers on investigation and estimation of NPS pollution

农业非点源污染是最普遍的非点源污染,主要是降雨动能的冲击作用以及地表径流冲刷而产生的土壤颗粒、化肥、农药等随地表径流进入水体引起水质污染的过程。在调查方法上,最早采用的是实地监测调查法,主要包括通过对区域水文地理特性的调查,确定降雨径流的水质、水量;在某流域对农业非点源污染的特点、类型、影响因素、危害、污染物迁移(流失)机理的探讨等。本文将此类研究归纳为三个方面,

分别为现状评价、危害分析和影响因素研究,具体见表2。

由表2可知,在国内,调查与评价的研究以现状评价为主。野外实地考察、监测是非点源污染研究中获取各种基础数据的最基本手段,也是采取其他研究手段的基础,对于非点源污染研究具有非常重要的意义。同样,国外对现状评价的研究也占主导地位,但更重视对非点源污染影响因素的分析。对非点源污染危害的分析,国内研究主要是针对氮、磷等营养物引起河流、湖泊富营养化问题的分析。国外在关注这方面的同时,更倾向于研究非点源污染物对水体中生物体的影响,而国内在这方面的报道则很少。

2.3 模型研究

如前文所述,在我国,利用模型进行的相关研究所占比重较小,这与我国对非点源污染研究起步较晚有关。由图5可以看出,在2000年以前,国内鲜见利用模型进行的非点源污染研究报道。近10a来,相关文献呈明显的增加趋势,其中2006年约30篇。相比之下,相关英文文献数量比较稳定,最近几年略有增加,其中也不乏我国学者所作的贡献。目前,国内仍以模型应用研究为主,多数模型来自国外现成的模型,或根据需要加以修正。因此,在模型方面的创新较少,这也是限制我国非点源污染防治模型发展的重要原因。

自20世纪80年代中期,遥感技术、人工模拟技术等相继应用于非点源污染研究。将农业非点源污染

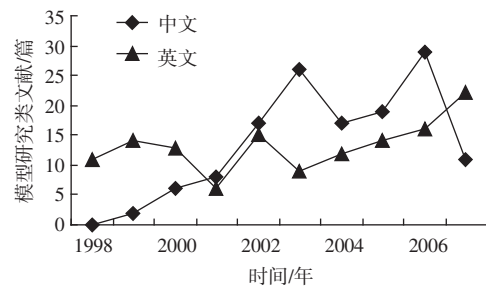


图5 非点源污染模型相关论文数量变化

Figure 5 Number of papers on models of NPS pollution

表2 调查及评价类论文分类比较

Table 2 Different aspects of papers on investigation and estimation of NPS pollution

分类	研究内容	国内(篇)	比例(%)	国外(篇)	比例(%)
现状评价	包括流域内非点源的现状调查综述,定性分析污染物来源、特征及危害等	151	66	58	56
危害分析	重点分析非点源污染对地表水、地下水水质及水体中各种生物体的影响	24	10	14	13
影响因素	重点阐述地表径流、土地利用类型、土地利用结构对污染物迁移的影响	55	24	32	31

注:表中比例为文献占调查及评价类论文总数的比例。

表 3 典型的非点源污染模型

Table 3 Typical models for NPS pollution

模型名称	CREAMS	ANSWERS	AGNPS	APM	HSPF	CNPS	SWAT
模型类型	集总	分散	分散	集总	集总	分散	集总
单元划分	—	方形网格	方形网格	—	—	方形网格	—
水文模型	SCS 或下渗模型	概念模型	SCS	SWM IV	斯坦福	SCS	SCS
土壤侵蚀模型	USLE	概念模型	USLE	Negev	概念模型	USLE	USLE
污染物迁移模型	概念模型	与沙量有关	概念模型	概念模型	概念模型	概念模型	概念模型

表 4 非点源污染防治论文分类比较

Table 4 Different aspects of papers on control of NPS pollution

分类	包含内容	国内(篇)	比例(%)	国外(篇)	比例(%)
技术手段	对污染物产生的源头、污染物迁移过程、污染物汇集地三方面逐级控制的方法,以及综合治理方法	165	85	49	42
管理手段	包括 TMDL 计划、最佳管理措施、经济措施及相关综合措施的探讨及应用	28	15	67	58

注:表中比例为文献占防治技术类论文总数的比例。

负荷模型与 3S (遥感、地理信息系统和全球定位系统)技术结合,水质模型对接用于流域水质管理成为农业非点源污染研究的重要趋势。关于模型的研究主要包括模型的开发和应用,如利用模型进行负荷的评价与预测,或将其应用于某流域并对模型进行校正与优化。同时,与各种技术(如 3S)及方法相融合进行系统化定量研究。近年来,较常用的模型有 CREAMS、ANSWERS、AGNPS、APM 等(表 3)。

2.4 污染防治

多年来,如何控制非点源污染,一直是研究者的关注重点。特别是在我国,近 10 a 约有 1/3 的文献是关于点源污染防治技术的,而且多数文献是最近几年发表的。由图 6 可以看出,2000 年以前,我国非点源污染治理的相关文献较少,此后逐年增加,至 2006 年发表数量达到顶峰。国外在治理方面的研究起步较早,发表论文数量尽管逐年有变化,但是并未出现较大波动。

非点源污染防治技术主要包括技术手段和管理手段两个方面。技术手段主要是通过对径流的滞缓、

下渗、存储,增加径流输出的空间路线长度,来达到延缓降雨引起的污染径流输出时间并减少负荷的目的,同时通过拦截、沉降、吸附、沉淀等作用把污染物存贮、去除、净化在迁移系统中。管理手段主要是通过建立以循环经济理论为指导的农林立体结构型、生物物种共生型、综合开发复合型等多种生态农业系统,使农业生产过程中和产品生命周期中资源用量、物质投入量和废物产生排放量最小化,发展生态农业实现农业经济和生态环境效益达到“双赢”。

由表 4 可知,国内对防治技术方面的研究主要集中在流域内分析对非点源污染防治对策,并重点探讨生态修复手段,对相关综合管理手段的研究较少。相比之下,国外更注重对水质管理措施以及综合管理措施的研究,并将结合模型的运用,不断为管理措施提供参考依据,进而使之得到优化。

3 讨论

经过多年的探索,非点源污染研究已从初期的定性化转向量化,由统计、调查和机理研究转向实用治理与系统开发研究。从本文分析可以看出,目前我国非点源污染研究已经取得了较大的进展,但目前仍然存在不少问题。

农业非点源污染是非常复杂的过程,其特征是在不确定的时间内,通过不确定的排放途径,向水系排放不确定量的各种污染物质,因此需要以大量调查为基础。我国学者先后在于桥水库、滇池、太湖、三峡库区等水体和流域进行了探索性研究,较好地认识了非点源污染的发生过程。例如,阎伍玖等通过对土地利用类型和农业活动的实际考察,分析了巢湖流域非点源

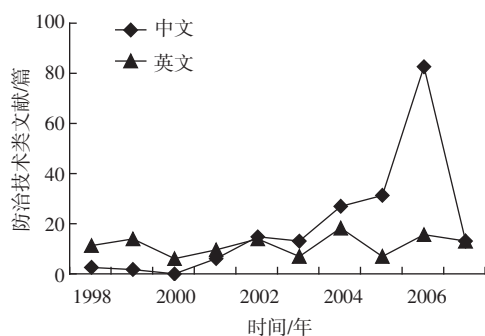


图 6 非点源污染防治类论文数量变化

Figure 6 Number of papers on control of NPS pollution

污染及其成因,为巢湖非点源污染控制提供了依据^[5]。

在非点源污染的危害上,关于氮、磷等营养元素的研究较多。例如,Georgios 等发现,沉积物中磷的释放是非点源污染造成水体富营养化的关键^[6]。国外对非点源污染对水生生物、地下水等影响的研究也有报道,例如 Candela 等通过对巴利阿里群岛的案例分析发现,非点源污染使当地地下水中氮浓度升高至 700 mg·L⁻¹^[7]。相对而言,国内在这方面的研究较少。笔者认为,应加强对有毒类污染物(杀虫剂)、生物累积类污染物(有毒有机物、重金属)形态变化的研究。

农业非点源污染物迁移转化的影响因素很多,国内外学者对降雨、土壤、土地利用、管理措施等单项因素进行了较多的研究。例如,Michael 等通过对森林地带和城市地区的比较分析不同土地利用方式对水体水质的影响^[8];金洋等以太湖流域为研究区分析了土地利用变化的模式和不同时期土地利用条件下径流量与营养盐负荷的变化^[9]。在我国,对于复合条件下各因素的综合作用及不同空间尺度和格局下氮、磷、泥沙的迁移和转化尚缺乏深入的探讨,尤其在基于流域尺度的农业非点源污染物来源、贡献、输移机制及其风险预警等方面还有大量的工作要做。

关于非点源污染的模型研究,是当前国内外的研究热点。如 Leon 等建立了一个模拟农业分水岭非点源污染的分布式水质模型^[10];Jordan 采用输出系数模型预测了北爱尔兰 50 多个集水区的扩散的溶解反应磷(SRP)和总磷(TP)^[11];Polyakov 等证明 AnnAGNPS 模型可以成功地被应用在降雨时空差异大的以火山熔岩为土壤基质的热带水域中^[12]。在国内,洪华生等采用野外采样和室内分析、点(典型汇水区)和面(全流域尺度)、GIS 和 AnnAGNPS 模型相结合的研究方法,定量估算了九龙江流域农业非点源污染负荷^[13];王少平等将模拟试验、GIS 技术和非点源污染模型相结合,探讨了苏州河流域的非点源污染负荷和时空演变规律^[14]。沈涛等以北京密云水库周边地区为研究区域,利用长期水文影响评价(The Long-Term Hydrologic Impact Assessment, L-THIA)模型,估算研究区内污染物的长期平均输出负荷并分析其空间分布特征^[15]。目前,我国对相关模型的研究基本上以建立经验模型和引用国外模型进行验证和模拟应用为主,缺少本土的机理模型研制与开发。因此,迫切需要建立适合我国不同区域特色和相应地理特点并能反映区域时空变异特征的非点源污染机理模型。

生态工程技术是解决非点源污染的主要途径之

一,该技术主要包括:多水塘系统、缓冲带、湿地系统、土壤渗滤等。目前,关于湿地对污染物的去除研究比较多。例如,Mitsch 等总结了一些地区不同水质保护目的所要求的湿地面积比例^[16]。David 发现湿地面积与水域面积比率越高,对营养物的截留、去除效应就越高,湿地与水域最佳面积比率为 15~20^[17]。尹澄清等在巢湖流域的研究中,根据该湖周围有大量小型湖泊、湿地的特点,提出控制非点源污染负荷的对策——“多塘法”,为湖泊、水库非点源污染的防治提供了一条经济、简便、高效的途径^[18]。

在大量研究的基础上,美国提出“最佳管理措施(best management practices, BMPs)”。因其高效、经济和符合生态学原则,在非点源污染控制中日益受到重视,目前在全世界得到广泛运用^[19]。美国马里兰州和美国田纳西流域的非点源污染治理项目是成功应用 BMPs 的实例。美国有人提出最大日负荷总量(Total Maximum Daily Loads, TMDL)计划,其总目标是识别具体污染区和土地利用状况,并且考虑对这些具体区域点源和非点源污染物浓度和数量提出控制措施,从而引导整个流域执行最好的流域管理计划。TMDL 计划在控制与管理非点源污染方面具有巨大的生命力,在总量控制下,对点源和非点源进行负荷分配,并且使污染指标值定量化,这些方面值得我国借鉴。

农业非点源污染全球性的环境问题,在世界各地均引起了足够的重视。目前,针对非点源污染的调查和分析仍是国内非点源污染研究的重点,它为进一步研究提供了充足的基础数据。但是在现阶段,我们需要调整研究比重,将重点转移至模型建立和优化、不确定性分析及相关防治技术的落实上面。笔者认为,可以从以下几方面加强非点源污染的研究:开发具有一定机理基础的、大中型流域尺度的模拟预测模型;研究过程中充分利用“3S”整体集成技术;从流域生态和谐角度实施最佳管理措施,建立流域土地、水域最优开发和管理模式。

参考文献:

- [1] 郑 涛,穆环珍,黄衍初,等. 非点源污染控制研究进展[J]. 环境保护, 2005 (2):31-34.
ZHENG Tao, MU Huan-zhen, HUANG Yan-chu, et al. Study Progress on Nonpoint Source Pollution[J]. *Pollution Control*, 2005 (2):31-34.
- [2] Dennis L C, Peter J V, Keith L. Modeling Non-point Source Pollution in Vadose Zone with GIS[J]. *Environment Science and Technology*, 1997, 8:2157-2175.
- [3] Ebbert J C, Kim M H. Soil Processes and Chemical Transport[J]. *Journal*

- of *Environmental Quality*, 1998, 27:372-380.
- [4] 张维理, 冀宏杰, KOLBE H, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策Ⅱ. 欧美国农业面源污染状况及控制 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1018-1025.
- ZHANG Wei-li, JI Hong-jie, KOLBE H, et al. Estimation of Agricultural Nonpoint Source Pollution in China and the Alleviating Strategies II. Status of Agricultural Nonpoint Source Pollution and the Alleviating Strategies in European and American Countries[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1018-1025.
- [5] 阎伍玖, 鲍 祥. 巢湖流域农业活动与非点源污染的初步研究[J]. 水土保持学报, 2001, 12(4): 128-132.
- YAN Wu-jiu, BAO Xiang. Study on Agricultural Movement of Chaohu Lake Basin and Nonpoint Source Pollution[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 12(4): 128-132.
- [6] Gikas G D, Yiannakopoulou T, Tsihrintzis V A. Water Quality Trends in A Coastal Lagoon Impacted by Non-point Source Pollution after Implementation of Protective Measures[J]. *Hydrobiologia*, 2006, 563: 385-406.
- [7] Candela L, Wallis K J, Mateos R M. Non-point Pollution of Groundwater from Agricultural Activities in Mediterranean Spain: the Balearic Islands Case Study[J]. *Environ Geology*, 2008, 54(3): 587-595.
- [8] Brett M T, Arhonditsis G B, Mueller S E, et al. Non-point Source Impacts on Stream Nutrient Concentrations along A Forest to Urban Gradient[J]. *Environmental Management*, 2005, 35(3): 330-342.
- [9] 金 洋, 李恒鹏, 李金莲. 太湖流域土地利用变化对非点源污染负荷量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1214-1218.
- JIN Yang, LI Heng-peng, LI Jin-lian. The Impact of Non-point Pollutant Load of Land Use Changes in Taihu Basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(4): 1214-1218.
- [10] Leon L F, Soulis E D, Kouwen N, et al. Non-point Source Pollution: A Distributed Water Quality Modeling Approach[J]. *Water Research*, 2001, 35: 997-1007.
- [11] Jordan C, McGuckin S O, Smith R V. Increased Predicted Losses of Phosphorus to Surface Waters from Soils with High Olsen-P Concentrations[J]. *Soil Use and Management*, 2000, 16(1): 27-35.
- [12] Polyakov V, Fares A, Kubo D, et al. Evaluation of A Non-point Source Pollution Model, AnnAGNPS in A Tropical Watershed[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2007, 22: 1617-1627.
- [13] 洪华生, 黄金良, 张珞平, 等. AnnAGNPS 模型在九龙江流域农业非点源污染模拟应用[J]. 环境科学, 2005, 26(4): 63-69.
- HONG Hua-sheng, HUANG Jin-liang, ZHANG Luo-ping, et al. Modelling Pollutant Loads and Management Alternatives in Jiulong River Watershed with AnnAGNPS[J]. *Environmental Science*, 2005, 26(4): 63-69.
- [14] 王少平, 俞立中, 许世远, 等. 苏州河非点源污染负荷研究 [J]. 环境科学研究, 2002, 27(6): 20-23.
- WANG Shao-ping, YU Li-zhong, XU Shi-yuan, et al. Research of Non-point Sources Pollution Loading in Suzhou Creek[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2002, 27(6): 20-23.
- [15] 沈 涛, 刘良云, 马金峰, 等. 基于 L-THIA 模型的密云水库地区非点源污染空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 62-68.
- SHEN Tao, LIU Liang-yun, MA Jin-feng, et al. Spatial Distribution Characteristics of Non-point Pollution of Miyun Reservoir Areas Based on L-THIA Model[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(5): 62-68.
- [16] Mitsch W J, Gosselink J G. The Value of Wetlands: Importance of Scale and Landscape Setting[J]. *Ecol*, 2000, 35: 25-33.
- [17] David A K, David M B, Gentry L E, et al. Effectiveness of Constructed Wetlands in Reducing Nitrogen and Phosphorus Export from Agriculture Tile Drainage[J]. *Environ Qual*, 2000, 29: 1262-1274.
- [18] 尹澄清, 毛战坡. 用生态工程技术控制非点源水污染 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 229-232.
- YIN Cheng-qing, MAO Zhan-bo. Non-point Pollution Control for Rural Areas of China with Ecological Engineering Technologies [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(2): 229-232.
- [19] Lin J Y, Hsieh C D. A Strategy for Implementing BMPs for Controlling Non-point Source Pollution: The Case of the Feitsui Reservoir Watershed in Taiwan[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2003, 39(2): 401-402.