

欧阳威, 刘迎春, 冷思文, 等. 近三十年非点源污染研究发展趋势分析[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(10): 2234–2241.

OUYANG Wei, LIU Ying-chun, LENG Si-wen, et al. An analysis of research trends about non-point source pollution over the last three decades[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(10): 2234–2241.

近三十年非点源污染研究发展趋势分析

欧阳威¹, 刘迎春², 冷思文¹, 刘宏斌³, 王依滴¹

(1. 北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学图书馆, 北京 100875; 3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 分析近三十年非点源污染研究发展趋势特征, 旨在为下一阶段非点源污染研究提供技术参考。从 Web of Science 核心合集得到 1990—2016 年所有非点源污染研究文献, 然后进行聚焦分析, 确定主要文献来源, 对比中外学者 H 指数。通过 CiteSpace 的关键词共现网络分析和文献共被引网络分析功能, 识别了 1990—2016 年间三个主要阶段的核心关键词 (作者关键词与扩展关键词) 的变化, 梳理了主要的共被引参考文献, 得到非点源污染研究领域发展趋势和知识基础特征。国外和国内非点源污染的最早文献分别在 1975 年和 1992 年, 1990 年后全球范围内非点源相关研究快速发展, 中国学者的研究在 2005 年后发展迅速。中外学者的 H 指数差距有减小趋势, 中国学者在全球非点源污染研究领域的相对影响力不断提升。关键词分布中“流域”与“管理”逐渐凸显, “SWAT (Soil and Water Assessment Tool)”、“中国”、“气候变化”词频进入前 30 位。研究内容方面, 非点源污染研究从点位尺度的观测过渡到流域尺度水质变化、氮磷污染输出规律、模型应用, 基于 GIS (Geographic information system) 空间分析的水文模型在流域尺度的模拟、优化和运用, 是非点源污染控制与评估的基础。随着研究的深入, 流域尺度的精细管理、非点源污染模型开发与耦合、气候变化效应近期受到更多关注。对 1990—2016 年间高被引文献特征进行梳理分析可知, 高被引文献涉及主题广泛, 其中中国学者也有明显贡献, 表明中国学者逐步成为非点源污染研究的主力。

关键词: 面源污染; 文献计量; 发展趋势; CiteSpace; H 指数

中图分类号: X592 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2018)10-2234-08 doi:10.11654/jaes.2017-1768

An analysis of research trends about non-point source pollution over the last three decades

OUYANG Wei¹, LIU Ying-chun², LENG Si-wen¹, LIU Hong-bin³, WANG Yi-di¹

(1. State Key Laboratory of water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing Normal University Library, Beijing 100875, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The goal of this research is a brief analysis of the characteristics of nonpoint source (NPS) pollution in the field over the last three decades. We retrieved all the relevant literature from “Web of Science core collection” and chose literature during 1990—2016 during further investigations. Based on Web of Science, we found the main sources of literature and compared the H-index of Chinese scholars and their international peers. Utilizing the “keyword co-occurring analysis” and “co-cited references analysis” functions incorporated in CiteSpace, we analyzed the changes in the most-used keywords (including author keywords and keywords plus) and investigated the most influential references to obtain a better understanding of research trends and the intellectual base in this field. The first recorded research paper about NPS pollution began in 1992 and 1975 in China and abroad, respectively. The Chinese researchers and studies in the Chinese

收稿日期: 2017-12-28 录用日期: 2018-02-27

作者简介: 欧阳威 (1980—), 男, 江西婺源人, 从事流域非点源污染模拟与控制研究。E-mail: wei@bnu.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0800503); 国家自然科学基金优秀青年科学基金项目 (41622110)

Project supported: The National Key Research and Development Program (2016YFD0800503); The National Science Fund for Distinguished Young Scholars (41622110)

mainland played an increasingly important role in this field. In terms of keywords, “watershed” and “management,” “SWAT,” “China,” and “climate change” appeared in the top 30 keywords in recent years. In terms of the research content, NPS pollution studies ranged from the point scale observation to water quality change, nitrogen and phosphorus pollution output law, and model application at the watershed scale. The simulation, optimization, and application of the hydrological model based on GIS (geographic information system) spatial analysis were the basis of NPS control and evaluation. With the development of research, the management of watersheds, the development and coupling NPS pollution models, and the effect of climate change had received more attention recently.

Keywords: diffuse pollution; bibliometrics; trend analysis; Cite Space; H-index

按照污染物进入水体的方式,水环境污染可分为点源污染和非点源污染(面源污染)。非点源主要包括农业非点源污染、城市非点源污染,另外还有植被区(森林、草原等)非点源污染、采矿业非点源污染、道路非点源污染和大气沉降等^[1]。非点源污染的产生离不开降水、产流和汇流过程,与土壤的累积、截留与侵蚀关系密切,特征是产生场所、产生时间、产生量是非固定的^[2-3]。因为非点源具有随机性和不确定性、广泛性和滞后性,所以其研究治理难度很大。围绕着非点源污染形成、迁移与控制,从农业资源与环境、环境工程等学科方向,我国流域水污染问题正在得到有效控制,环境部发布的水环境公报表明我国主要河流与湖泊的污染情况得到有效改善,部分水体水质呈好转趋势,但流域水体非点源污染问题成为继续改善环境质量的瓶颈,在国务院2015年颁布的《水污染防治行动计划》中有专门的篇章定义这部分任务^[4-5]。有学者指出在未来几十年,如何更好地控制非点源污染将是我国水环境保护最主要的问题之一^[6]。党的十九大报告也提出“加强农业面源污染防治,开展农村人居环境整治行动”,说明现阶段我国非点源污染问题严重,是亟需解决的民生问题。

文献计量学以各类文献为主要研究对象,采用定量的手段分析各类学科发展中存在的数学规律。因其显著的定量化、客观性和模型化的宏观研究优势已应用于多个学科。但迄今为止,针对非点源污染问题的文献计量分析大部分是针对已有文献的来源(国家、学者和机构等)进行简单的统计分析,缺乏对该领域发展历程、研究现状和前沿动态的细致分析^[7]。因此,本文采用文献计量学的方法整体分析了全球非点源污染的发展历程,重点探讨了该研究领域在研究方向、尺度、内容、对象等方面的发展趋势,同时评价了我国在非点源污染领域研究与国外研究的差距及变化,指出了国内学者需持续和重点关注的研究方向,为进一步推进非点源污染研究领域的发展与管理决策的制定提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

在 Web of Science 核心合集中以检索式: TS=(((diffuse near/10 pollution) or (“diffuse sources”) or (“non point”) or (nonpoint))) and (pollut* or contaminat* or nutrient or eutrophication)) not (“air pollut*” or “atmospheric pollut*” or “light pollution”))进行检索,将1990—2016年文献作为分析的主要数据来源,近30年全球非点源污染相关研究的总体趋势。分析检索日期为2017年11月1日。

1.2 分析方法

通过 Web of Science “分析检索结果”功能,得到历年文献量数据。为了更简洁清晰地呈现发文量的历史变化,以三年为一个时间段来展示,并且分析1990—2016年非点源污染研究的来源出版物和来源机构。通过“创建引文报告”功能,得出1990—1999, 2000—2009, 2010—2013, 2014—2016, 1990—2016中外文献的 H-index 数据,以及发文量前十位的学者所发文献的 H-index 数据,以此对比中外研究的 H-index。

将1990—2016年这27年的文献集按“全记录与参考文献”导出,在 CiteSpace 中进行文献计量学与可视化分析。时间切割设为3年,因而1990—2016分成9个时间段,即1990—1992、1993—1995、1996—1998、1999—2001、2002—2004、2005—2007、2008—2010、2011—2013、2014—2016。引文网络分析工具 CiteSpace 是美国德雷克赛尔大学的华裔研究者陈超美博士2004年开发并不断更新的基于 java 的计量和分析科学文献数据的信息可视化软件,本文使用版本是 CiteSpace5.1R8 SE(64bit)^[8]。

运用 CiteSpace 进行关键词共现网络分析。时期为1990—2016年,将时间切割间隔设为3年,术语来源选标题、摘要、著者关键词、关键词扩展,阈值设置为 Top50、不修枝(pruning)。此外,对一些同义关键

词予以了合并处理,具体是:nonpoint source pollution 的多种变体和 diffuse pollution, river 和 stream, pollution 和 contamination, GIS 及其全写, BMP 及其全写, model 和 modeling, watershed、catchment 和 river basin, SWAT 和 SWAT model。合并网络图有 131 个节点, 616 条连线。选取时间间隔和关键词特征上有代表性的 1993—1995、2002—2004、2014—2016 这三个时段输出关键词共现网络图,分析非点源污染研究的特征和趋势。其中 1993—1995 年关键词词频较小,分析前 20 位,2002—2004 与 2014—2016 年均分析前 30 位。

进一步运用 CiteSpace 进行文献共被引网络分析,结合 pathfinder 算法修枝,得到 482 个节点,595 条连线的简要分析自动聚类图。为清晰地分析重要的研究节点文献的特征,在 CiteSpace 中导出文献共被引合并网络图的总结表,提取引用次数(frequency)、突现度(burst)、中心度(centrality)、sigma 指数前 15 位的共被引参考文献做重点分析,共可获得 29 篇。其中 sigma 指数是科学新颖性的度量,是突现度和中心度的函数。阅读这 29 篇文献的标题与摘要,总结非点源污染研究主要参考文献的借鉴意义,讨论非点源污染研究的知识基础(intellectual base)^[9]。

2 结果与讨论

2.1 总体分析

国外和国内非点源污染研究文献分别起始于 1975 年^[10]和 1992 年^[11]。1990 年前世界非点源污染研究发文速度缓慢,之后才开始快速发展。我国针对非点源污染的相关研究在 2005 年后发展迅速(图 1),目前已成为非点源污染研究的大国,影响力也在逐步提升。2014—2016 年间我国学者发文量约占到总发文量的三分之一。发文量前十的机构中,我国占两席。我国学者文献的 H-index 与国外有接近趋势(图 2)。25 篇 ESI 高被引论文中,4 篇为我国第一作者。

从 1990—2016 年总体看,我国学者所发文献的 H-index 是 46,国外学者所发文献的 H-index 是 127,中外前十位高发文学者所发文献的 H-index 分别是 27 和 46(图 2)。我国与国外学者在 H-index 方面还存在较大差距。一方面由于我国起步较晚,发文量少;另一方面可能是文章质量上还存在一定差距。1990—1999 年我国学者所发文献的 H-index 约是国外学者所发文献 H-index 的十分之一。然而近年来,我国学者发文量大幅提升,其中包括在顶级期刊上发表的非点

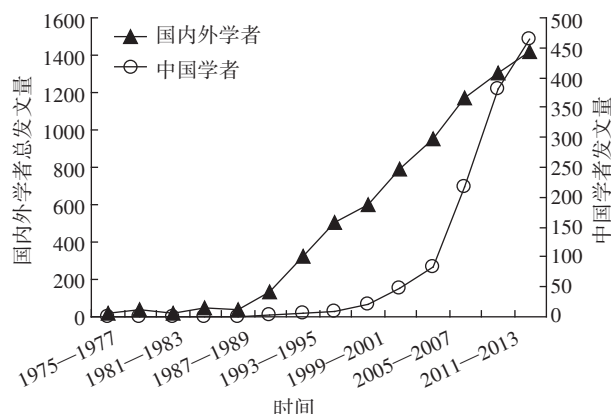


图 1 非点源污染研究发文量变化图

Figure 1 The number of published literature about non-point source pollution

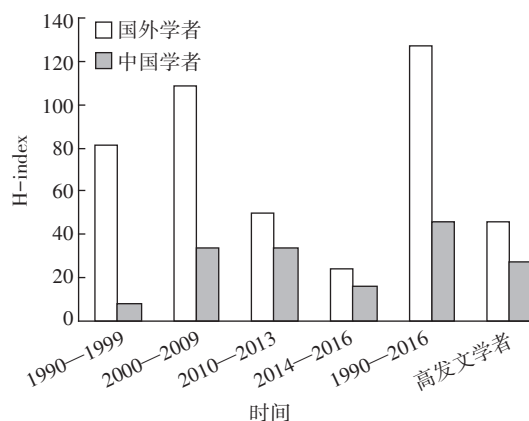


图 2 中外非点源污染研究 H-index 比较图

Figure 2 H-index of Chinese scholars and international colleagues major in non-point source pollution

源氮磷污染管理和预警相关文章^[12-13],到 2014—2016 年中外 H-index 仅相差 8,可以看出中外文献 H-index 差距正在逐渐缩小。

1990—2016 年总发文量为 7195 篇,其中国内机构学者发文量 1227 篇,国外机构学者发文量 5968 篇;包含至少 5 篇文献的 Web of Science 期刊类别有 80 个,来源出版物和来源机构超过 500 个。文献数量前十位来源出版物和前十位来源机构(表 1)发文量分别约占 27% 和 19%,中国科学院系统和北京师范大学在此领域进入了全球前 10 名。

2.2 关键词共现网络分析

近三十年来非点源污染研究前 20 位关键词发展迅速,尤其是不同关键词的出现频次和关联度都有明显提高。在此过程中,非点源污染相关研究始终围绕改善水质的目标,持续关注了氮、磷和与之联系的水体富营养化问题,营养元素、沉积物的重要来源——土壤以及重要的物质输送驱动力——径流等问题。

表1 1990—2016年非点源污染研究文献发表的前十位来源学术期刊和机构

Table 1 Top 10 academic journals and institutions in the field of nonpoint source pollution during 1990—2016

排序	前十位来源出版物(2016年影响因子)	排序	前十位来源机构
1	<i>Water Science and Technology</i> (1.297)	1	中国科学院
2	<i>Journal of the American Water Resources Association</i> (2.158)	2	美国农业部农业研究局
3	<i>Science of the Total Environment</i> (5.102)	3	美国地质调查局
4	<i>Journal of Environmental Quality</i> (2.986)	4	北京师范大学
5	<i>Environmental Monitoring and Assessment</i> (1.974))	5	美国环境保护署
6	<i>Journal of Hydrology</i> (4.043)	6	美国爱荷华州立大学
7	<i>Journal of Soil and Water Conservation</i> (2.484)	7	美国威斯康星大学
8	<i>Environmental Science & Technology</i> (6.960)	8	美国马里兰大学
9	<i>Journal of Environmental Management</i> (4.712)	9	美国普渡大学
10	<i>Water Research</i> (7.715)	10	美国加州大学戴维斯分校

除此之外,近三十年来非点源污染研究在流域尺度综合管理方面的研究稳步增强,“流域”与“管理”这两个词的关键地位愈发凸显且趋向于共现。

初期阶段的1993—1995年,非点源污染研究词频大于20的关键词较少(图3A)。除非点源外,“氮”、“磷”及“水质”是频次高的关键词,表明非点源污染研究主要针对地表水或者地下水体富营养化中氮磷来源与过程分析,主要的研究方法为传统的实地采样与监测。进入本世纪初,非点源污染的词频在相同的3年内增加了3倍,词频超过30次的关键词数量也大幅增加(图3B),表明非点源污染研究的广度与深度明显提高。在污染物方面,除总氮外,硝态氮和重金属的研究逐步深入。对河流、迁移、模拟和沉积物的关注度也稳步提高,这个阶段,非点源污染研究方法和工具也迅速发展,尤其是随着GIS的出现,基于空间分析进行水文模型模拟使得流域综合管理、不同土地利用效应等方面的研究得以开展。

2014—2016年期间,高频词数量剧增,表明该研究领域得到了快速发展(图3C)。“流域”是第3位高频词,“管理”是第6位高频词,“管理”与“氮磷”、“径流”“沉积物”、“模型”、“系统”等词的共现,反映出本阶段的研究重点是对包括氮磷、沉积物、径流过程等加以管理。目前,应用于流域范围内研究非点源污染负荷的模型主要有HSPF(Hydrological simulation program-FORTRAN)、ANSWERS(Areal nonpoint source watershed environmental response simulation)、AGNPS(Agricultural non-point source)和SWAT(Soil and water assessment tool)。由于所用参数、率定时间、模拟流域的空间尺度、对管理措施的模拟和对营养元素的模拟效果等诸多因素的考虑,SWAT逐渐成为应用最为广

泛的模型,SWAT在2011—2013年进入前20位,在2014—2016年达到第16位。在这一阶段,流域的非点源污染负荷量计算的研究趋于基于GIS空间分析将SWAT模型模拟手段和实地监测方法相结合,从而得到较真实的计算值。随着气候变暖这个全球性环境问题的日益严重,针对气候变化对非点源污染的影响研究也逐渐引起了各国学者的重视,2014—2016年“气候变化”一词也位列前30位高频关键词之中。2014—2016年期间“中国”这一关键词强劲增长位列第13位,反映出我国学者的研究发展迅速,另一方面也反映了学界对我国非点源污染问题越来越重视。对我国各地区非点源污染研究的推进将有助于我国环境质量的改善。

在CiteSpace中做关键词共现分析,系统能对关键词在各年段的出现情况进行突现词检查,如果一个词在某个年段的波动相对于整个时期来说变动显著,那么这个词就是突现词(Burst terms)^[8-9]。值得注意的是,SWAT、中国、气候变化三个词分别在2005、2008、2014年突现,且突现度(burst)较高,均大于20,进一步印证了上述分析。

2.3 文献共被引网络分析

非点源污染研究文献共被引网络图自动聚类图(图4)显示了主要的类及类标签,482个文献节点共有108个类,自动聚类图直观表现出了非点源污染研究的发展方向。该图左上角蓝色的聚类区,文献发表时间较早,研究较为关注耕地管理和非点源污染物具体类型的输出负荷,表明这个阶段的非点源污染研究主要集中在点位尺度,尤其注重原位观测;右上部的绿色的节点代表了发展中期非点源污染研究特征,大都是关于不同空间尺度条件下氮、磷污染输出特征、

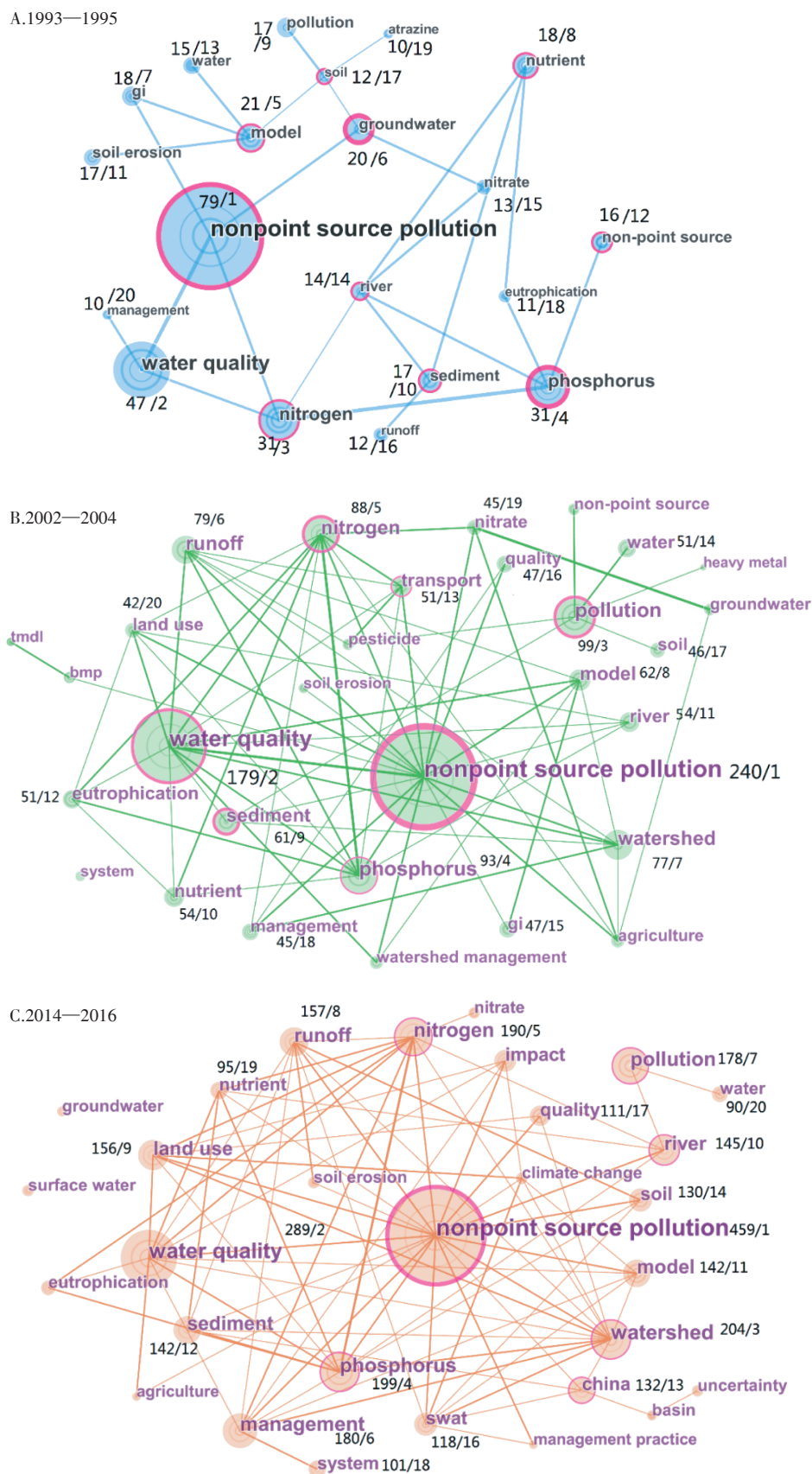


图3 三个代表性时段非点源污染研究高频关键词共现网络图

Figure 3 Co-occurring distribution of top keywords about non-point source pollution research in three periods

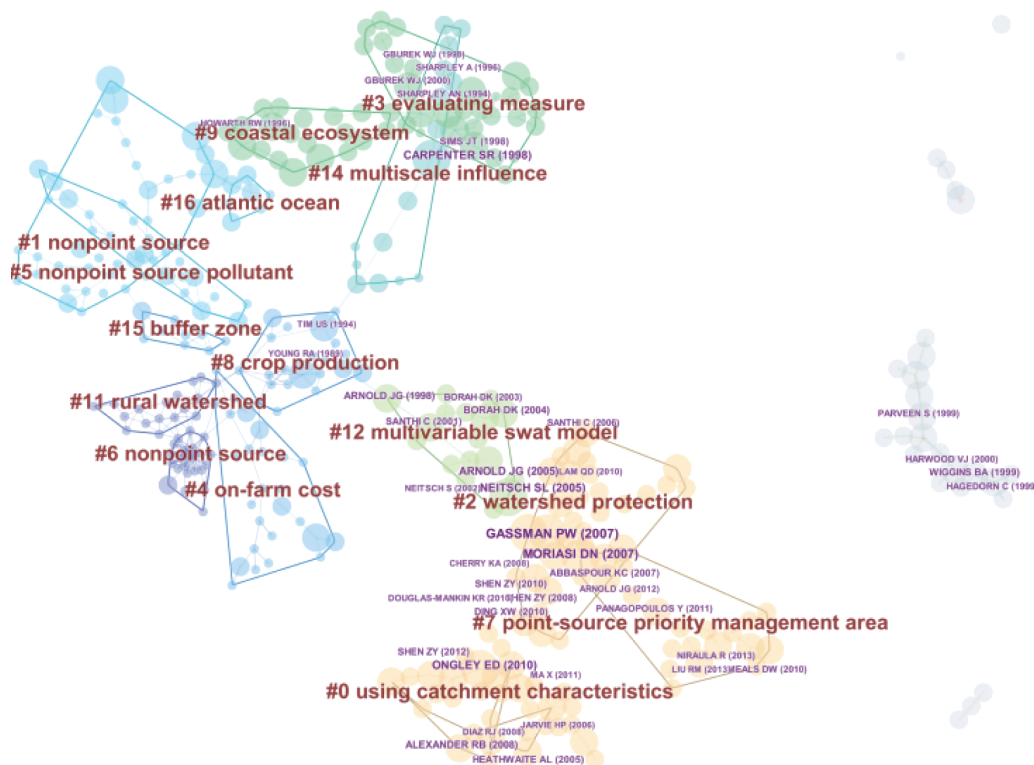


图4 非点源污染研究文献共被引网络自动聚类图(by title terms-LLR)

Figure 4 Distributions of co-cited references clusters labeled by title terms-LLR about non-point source pollution

对河口生态系统影响以及多种控制措施的评价,表明这个阶段的研究已扩展到环境效应及污染控制。近期的研究集中在右下角的棕色节点聚类标签区,该期间SWAT是出现频次最多的模拟模型。在流域非点源污染管理方面,重点已从常规的流域综合管理上升到考虑流域自然特征的优先控制区,而从流域水环境与生态保护角度出发的非点源污染研究也逐步成为主流。除营养物质氮磷、重金属和农药之外,近期的非点源污染研究对生物学类指标的研究逐步推进,节点聚类标签区中部右边的节点表明这部分研究已经基本成熟,尤其是涉及的畜禽养殖废弃物、下水道泄漏及人体健康研究,表明非点源污染环境健康效应研究将是未来发展热点。目前这部分虽尚未和传统的非点源污染深入耦合,然而一旦将物理、化学层面的非点源污染模型发展到生物学层面,不同尺度时空效应分析的实现将指日可待。

2.4 高被引文献特征分析

由于高被引文献信息量大、参考价值大、典型性强,本文也对其中的25篇ESI高被引文献开展了特征分析。25篇高被引文献中包含了综述类文献7篇,在内容上,关于模型的文献共有4篇,均为SWAT模型

的应用发展;关于某个代表性研究地点文献共有5篇,如美国印第安河潟湖、伊利湖和我国太湖的研究。此外,有5篇文献为国际合作,表明加强非点源污染研究的国际合作将更有效地提高研究成果的关注度。25篇高被引文献涉及的研究热点广泛,如传统的氮磷污染以及富营养化问题研究,也有关于痕量非点源污染物,如重金属、有机污染物、生物炭、沉积物、农作物残留物的研究,模型方法类研究,尤其是模型综述类文献引用频次较高,这些特征均表明非点源污染研究在污染物类型、迁移过程分析方面取得了较为明显的进步。

表2总结了主要的高被引参考文献的基本特征。分析表明GIS和SWAT相关的文献被引率高,可见方法类研究仍然是同行关注的热点,也反映了这两种工具对于非点源污染研究的重要意义。非点源污染具有明显的不确定性和滞后性,该领域的研究是典型的流域尺度跨学科研究,涉及大量空间数据。GIS的辅助实现了不同尺度的高效模拟,经过三十多年的完善,SWAT实现了模型的研究尺度从田间向流域的扩展,对流域的研究与管理起到推动作用。然而,由于模型在概化自然系统的过程中进行了一系列简化和

表2 1990—2016年期间非点源污染研究主要高被引文献特征分析

Table 2 Analysis of influential co-cited references during 1990—2016 in the field of nonpoint source pollution

主要研究内容	文献来源
SWAT模型模拟基本原理介绍、最新模型方法发展介绍、不同参数模拟优劣分析、模型模拟结果不确定性分析和代表性流域非点源污染控制评估实际应用	Gassman P W ^[14] , Borah D K ^[15] , Santhi C ^[16] , Abbaspour K C ^[17]
基于GIS的非点源污染研究进展介绍、流域尺度上运用GIS平台与其他模型的耦合以及实际应用	Joao E M ^[18] , Halliday S L ^[19] , Morehouse S ^[20] , Sharples A N ^[21] , Alexander R B ^[22] , Jordan T E ^[23]
农业氮磷污染的来源解析、传输运输特征分析、如水负荷特征与流域非点源污染调控措施研究	Ongley E D ^[24] , Ouyang W ^[25] , Shen Z Y ^[6]
分析中国非点源污染研究及负荷估算存在的问题, 综述非点源污染模型在中国的运用及开发特征	Moriasi D N ^[26] , Heathwaite A L ^[27] , Ding X W ^[28]
对已有模型模拟与流域管理提出新见解, 模型优化改进后开展非点源污染流失负荷关键源区识别	

假设,加之模型运用时输入信息的缺乏或存在误差,以及获取的参数值不确定,使得模型模拟结果的不确定性问题日益凸显。如何认识和定量评价非点源污染模型模拟结果的不确定性仍然是非点源污染模型研究的前沿领域。国内外学者也通过构建人工模拟降雨径流实验装置,研究分析不同降雨、不同下垫面条件下非点源污染流失规律,并且结合非点源污染模型及河流水质分析模型,研究模拟不同降雨重现期、不同降雨历时条件下非点源污染流失特征,分析污染物入河后浓度变化规律,定量模拟分析污染源防控措施的污染削减效果。此外,近三十年非点源污染研究最明显的特征是中国学者逐步成为研究的中流砥柱,有关中国的研究文献在数量和被引量上都有大幅提升。有多篇高被引文献是关于中国非点源污染研究估算准确性问题和模型使用问题,说明快速发展中的中国本土非点源污染研究正在努力发展更准确的结果、更有效的模型与方法。

3 结论

(1) 1990—2016年是非点源污染研究快速发展的阶段。在水环境管理与污染控制的促进下,近十年来我国非点源污染研究发展迅速,已经成为全球重要的研究基地和创新基地。随着我国学者在模型本地化改进和精细化模拟管理方面研究的深入,非点源污染研究团队和学者在全球范围内的排名稳步上升,H指数的差距也在逐步缩小,中国必将成为非点源污染研究的领跑者。

(2) 非点源污染研究围绕改善水质的目标,核心研究内容为氮磷污染输出、模型模拟、模型优化以及径流变化和土壤属性对非点源污染输出的影响等。模型模拟方面,基于GIS空间分析的SWAT模型逐步成为运用最为广泛的工具,实现了对不同地理尺度下非点源污染输出特征的分析,并逐步开展气候变化带来的非点源输出效应研究。

(3) 通过对关键词共现网络、文献共被引网络和高被引文献的分析,表明非点源污染研究逐渐从点位尺度的输出负荷分析与控制,过渡到流域尺度不同类型污染物在不同尺度下的精细化模拟与管理。下一阶段,非点源污染模拟将由物理化学层面提升到生物层面,实现生物学类非点源污染模拟分析和健康效应评价。

参考文献:

- [1] Chen Y S, Lin L S, Viadero R C, et al. Nonpoint source pollution[J]. *Water Environment Research*, 2007, 79(10): 2032–2048.
- [2] 贺瑞敏, 张建云, 陆桂华. 我国非点源污染研究进展与发展趋势[J]. 水文, 2005(4): 10–13.
HE Rui-min, ZHANG Jian-yun, LU Gui-hua. The trend of study on non-point source pollution in China[J]. *Hydrology*, 2005(4): 10–13.
- [3] 曹高明, 杜强, 宫辉力, 等. 非点源污染研究综述[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2011(1): 35–40.
CAO Gao-ming, DU Qiang, GONG Hui-li, et al. A review of nonpoint source pollution study[J]. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 2011(1): 35–40.
- [4] 李春林, 胡远满, 刘森, 等. 城市非点源污染研究进展[J]. 生态学杂志, 2013(2): 492–500.
LI Chun-lin, HU Yuan-man, LIU Miao, et al. Urban non-point source pollution: Research progress[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013(2): 492–500.
- [5] Schoumans O F, Chardon W J, Bechmann M E, et al. Mitigation options to reduce phosphorus losses from the agricultural sector and improve surface water quality: A review[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 468: 1255–1266.
- [6] Shen Z Y, Liao Q, Hong Q, et al. An overview of research on agricultural non-point source pollution modelling in China[J]. *Separation and Purification Technology*, 2012, 84(2): 104–111.
- [7] 马鑫, 闫铁柱, 曹洪涛, 等. 流域非点源污染文献计量分析[J]. 农业图书情报学刊, 2014, 26: 55–61.
MA Xin, YAN Tie-zhu, CAO Hong-tao, et al. Bibliometric analysis on literatures of non-point source pollution at a watershed scale[J]. *Journal of Library and Information Sciences in Agriculture*, 2014, 26: 55–61.
- [8] 辛伟, 雷二庆, 常晓, 等. 知识图谱在军事心理学研究中的应用——基于 ISI Web of Science 数据库的 CiteSpace 分析[J]. 心理科学

- 进展, 2014(2):334-347.
- XIN Wei, LEI Er-qing, CHANG Xiao, et al. The application of knowledge mapping in studies of military psychology: CiteSpace analysis based on data from ISI Web of Science database[J]. *Advances in Psychological Science*, 2014(2):334-347.
- [9] Chen C, Ibekwe-Sanjuan F, Hou J. The structure and dynamics of cocitation clusters: A multiple-perspective cocitation analysis[J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2010, 61(7):1386-1409.
- [10] Miller W L, Everett H W. Economic impact of controlling nonpoint pollution in hardwood forestland[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1975, 57(4):576-583.
- [11] Kao J J. Determining drainage pattern using dem data for nonpoint-source water-quality modeling[J]. *Water Science and Technology*, 1992, 26(5/6):1431-1438.
- [12] Zhang X, Davidson E A, Mauzerall D L, et al. Managing nitrogen for sustainable development[J]. *Nature*, 2015, 528(7580):51-59.
- [13] Tong Y, Zhang W, Wang X, et al. Decline in Chinese lake phosphorus concentration accompanied by shift in sources since 2006[J]. *Nature Geoscience*, 2017, 10(7):507-512.
- [14] Gassman P W, Reyes M R, Green C H, et al. The soil and water assessment tool: Historical development, applications, and future research directions[J]. *Transactions of the Asabe*, 2007, 50(4):1211-1250.
- [15] Borah D K, Bera M. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of applications[J]. *Transactions of the Asabe*, 2004, 47(3):789-803.
- [16] Santhi C, Arnold J G, Williams J R, et al. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2001, 37(5):1169-1188.
- [17] Abbaspour K C, Yang J, Maximov I, et al. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine thur watershed using swat[J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 333(2/3/4):413-430.
- [18] Joao E M, Walsh S J. GIS implications for hydrologic modeling simulation of nonpoint pollution generated as a consequence of watershed development scenarios[J]. *Computers Environment and Urban Systems*, 1992, 16(1):43-63.
- [19] Halliday S L, Wolfe M L. Assessing ground-water pollution potential from nitrogen-fertilizer using a geographic information system[J]. *Water Resources Bulletin*, 1991, 27(2):237-245.
- [20] Morehouse S. The ARC/INFO geographic information system[J]. *Computers & Geosciences*, 1992, 18(4):435-441.
- [21] Sharpley A N, Chapra S C, Wedepohl R, et al. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters issues and options[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1994, 23(3):437-451.
- [22] Alexander R B, Smith R A, Schwarz G E, et al. Differences in phosphorus and nitrogen delivery to the gulf of mexico from the Mississippi River basin[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42(3):822-830.
- [23] Jordan T E, Correll D L, Weller D E. Nutrient interception by a riparian forest receiving inputs from adjacent cropland[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1993, 22(3):467-473.
- [24] Ongley E D, Zhang X, Yu T. Current status of agricultural and rural non-point source pollution assessment in China[J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158(5):1159-1168.
- [25] Ouyang W, Gao X, Wei P, et al. A review of diffuse pollution modeling and associated implications for watershed management in China[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2017, 17(6):1527-1536.
- [26] Moriasi D N, Arnold J G, Van Liew M W, et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations[J]. *Transactions of the Asabe*, 2007, 50(3):885-900.
- [27] Heathwaite A L, Quinn P F, Hewett C. Modelling and managing critical source areas of diffuse pollution from agricultural land using flow connectivity simulation[J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 304(1/2/3/4):446-461.
- [28] Ding X, Shen Z, Hong Q, et al. Development and test of the export coefficient model in the upper reach of the Yangtze River[J]. *Journal of Hydrology*, 2010, 383(3/4):233-244.