学术信息与动态

DOI: 10.5846/stxb202104291131
刘中,梁伟斌,潘培丰,刘懂,陈财,徐耀阳.流域氮的科学图谱及其主题演变.生态学报,2022,42(18):7697-7705.

流域氮的科学图谱及其主题演变

刘　中[1],梁伟斌[1],潘培丰[1],刘　懂[2,3],陈　财[2,3],徐耀阳[2,4,*]

1 宁波市生态环境科学研究院,宁波　315012
2 中国科学院城市环境研究所,厦门　361021
3 中国科学院大学,北京　100049
4 中国科学院宁波城市环境观测研究站,宁波　315830

摘要:氮是限制生态系统生产力和引发富营养化等环境问题的关键因子,受到流域研究学者的广泛关注。以 Web of Science 核心合集为数据源,借助科学图谱方法对 2000—2019 年发表的科学文献进行定量分析,围绕论文数量与期刊分布、国际及机构合作、学科交叉和研究主题与演变等方面系统地回顾了流域氮领域的研究进展。论文数量与期刊分布方面,论文的年发表量呈逐年增长趋势,发文量较高的期刊包括 *Science of the total environment*、*Biogeochemistry* 和 *Journal of hydrology*。国际与机构合作方面,中国和美国的发文数量最多,是国际合作的中坚力量;中国科学院和美国地质调查局发文数量最多,两者分别是近期和早期机构合作的主导力量。学科交叉方面,流域氮领域呈现多学科交叉特点,重点学科包括环境科学、水资源学和地质学。研究主题与演变方面,氮形态与转化、营养盐与富营养化以及水质与管理是流域氮领域的研究重点;人类活动与气候变化双重驱动下流域中氮的分布特征、模型与最优管理措施在流域管理中的应用是该领域未来的研究热点。未来研究需重点关注流域氮动态的驱动机制以及流域氮管理措施的优化,量化气候变化背景下径流量等水文特征以及城市化、农业发展等人类活动驱动下土地利用类型转变对流域中氮循环和氮负荷的影响,以流域“山水林田湖草生命共同体”的理论构建基于自然的管理方案,并评估管理措施对流域生态系统供给服务。

关键词:流域;氮;科学图谱;研究主题;演变

流域中的氮不仅对生态系统服务具有重要贡献,还易引发生态环境危害,从而引起流域研究学者广泛关注。作为生物体必需的营养元素之一,氮的形态与含量不仅直接关乎流域中农作物的产量[1—2],也可以通过调节水体中浮游植物的初级生产力,间接影响渔业产量[3—5]。近几十年来,随着农业生产中氮肥的大量使用、含氮工业废水与生活污水排放量的增加,通过地表径流、土壤渗透、大气沉降、地下水或排污管道等途径进入河流、湖泊、水库、近岸海域等水体中的氮通量有了大幅提升[6—9]。水体中氮的过量输入会导致浮游植物的大量繁殖,引发富营养化、水质退化、生物多样性损失和地下水硝酸盐污染等一系列生态环境问题,从而影响流域与近岸海域生态系统的稳定性与可持续性[10—13]。

为了应对氮引发的生态环境威胁和提升流域等生态系统的稳定性,国内外学者围绕氮循环过程、氮的形态与分布特征、氮负荷及来源解析、氮的污染与管理等方面开展了大量研究[14—18]。因此,整合前人在流域氮领域不同方面的研究结果,对于梳理该领域的研究现状、厘清研究热点、预测研究趋势具有重要意义,同时也有助于明确改善上述生态环境问题的关键理论与技术[19]。目前,已有研究概述了流域中氮的迁移转化过程、人类活动与氮输入量的关系、氮动态的预测模型和面源污染管理措施等方面的科研进展[20—23]。研究主要定

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFE0119000)
收稿日期:2021-04-29;　　**采用日期**:2021-11-17
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: yyxu@ iue.ac.cn

性分析了流域氮领域中单一主题的研究现状,无法用定量的方法对其研究进展进行全面系统总结。此外,数量庞大且不断增长的文献数量,也使得传统的文献综述方法很难预测该领域的研究趋势。

科学图谱作为一种新兴文献分析方法,能够有效整合大量文献中的信息、定量且直观地展示某一领域的研究现状、热点与趋势,有效弥补了传统文献综述研究中参考文献量少且只能定性归纳的不足[24]。目前,该方法已广泛应用于重金属污染修复、面源污染管理、自然保护地、生态系统服务等生态环境领域[25—28]。VOSviewer、Bibexcel、CiteSpace 是常用的科学图谱绘制工具,从 Web of Science 核心合集数据库等检索平台下载的文献记录中提取期刊、作者、科研机构、学科类型、关键词等信息,并通过构建信息的共现网络图谱揭示研究进展[29—30]。

本研究以 Web of Science 核心合集为数据源,借助科学图谱方法,对 2000—2019 年期间流域氮领域发表的研究论文进行统计与可视化分析,旨在从论文数量与期刊分布、国际与机构合作、学科交叉以及研究主题与演变的视角阐述流域氮的研究进展,并为该领域的相关综述研究提供方法学借鉴。

1 数据与方法

1.1 数据来源

基于美国汤森路透公司(Thomson Reuters)开发的 Web of Science 核心合集数据库,本文构建了 2000—2019 年间流域氮研究的文本集,围绕论文数量与期刊分布、国际与机构合作、学科交叉以及研究主题与趋势 4 个方面总结该领域的研究进展。该文本集由 4171 条以“TI=(watershed * OR drainage basin * OR river basin * OR catchment *) AND TS=nitrogen *”为检索公式下载的论文记录组成。其中 TI 和 TS 分别代表题目(Title)和主题(Topic)。检索时间为 2020 年 10 月 15 日,每条记录包括出版年份、作者地址、学科类型和关键词等信息。

1.2 数据分析

本研究基于 Web of Science 分析功能对流域氮领域论文的年发表数量进行统计并利用 Origin 软件分析了发文量的年际变化趋势。根据 Web of Science 中 2019 年版的引文报告,对来源期刊的论文数量统计,并进一步分析论文数量排名前 20 期刊的总被引频次、篇均被引次数及影响因子。首先,国际合作模式以国家单元为基础,将英格兰、苏格兰、威尔士和北爱尔兰发表文献合并为英国文献集;中国的台湾省、香港和澳门特别行政区出版的文献统一归为中国文献集。然后,基于 VOSviewer 可视化软件中的全计数法,对各国的发文量进行统计,并计算发文数量排名前 20 国家之间的合作次数。最后,基于国家的地理位置和国家间的合作频次,采用 ArcGIS 展示了国际合作网络。与此同时,发文数量排名前 20 的科研机构合作也采用 VOSviewer 软件合作网络图谱进行分析展示。

学科交叉特点通过学科类型共现网络进行呈现。首先,采用文献分析软件 Bibexcel,统计了各学科类型的文献数量。其次,运用 Bibexcel 中的共现分析模块,统计论文数量排名前 20 的学科类型之间的共现频次。最后,借助 VOSviewer 中的可视化功能展示学科交叉的现状。鉴于关键词是对论文内容的高度概括,本研究选取流域氮领域最常用 50 个关键词进行研究主题的分析。首先,基于 VOSviewer 软件中的二进制计数法,对关键词进行词频统计。考虑到有些关键词在文献中表述相同的含义,在词频统计前将同义词进行合并。其次,借助 VOSviewer 软件中的全计数法,计算关键词之间的共现频次。然后,根据词频及共现次数的统计结果构建了关键词共现网络,并利用软件默认的加权欧式距离算法将关键词进行分组[31]。最终采用该软件叠加可视化功能,绘制包含时间属性的关键词共现网络。

2 结果与讨论

2.1 论文数量与发表期刊

2000—2019 年期间,Web of Science 核心合集数据库共收录 4171 篇关于流域氮研究的论文,发文量由

2000 年的 80 篇升至 2019 年的 307 篇,发文量总体呈现逐年上升趋势(图 1)。统计发现,相关论文共发表在 696 种期刊上,其中发文量较多的期刊包括 *Science of the total environment*、*Biogeochemistry* 和 *Journal of hydrology*,发文量各为 241、138 和 137 篇(表 1)。论文篇均被引次数较高的期刊为 *Environmental science & technology*、*Biogeochemistry* 和 *Journal of hydrology*,篇均被引次数分别为 54、47 和 43。其中,高影响因子期刊包括 *Environmental science & technology*、*Science of the total environment* 和 *Journal of environmental Management*,影响因子分别为 7.9、6.0 和 5.7。

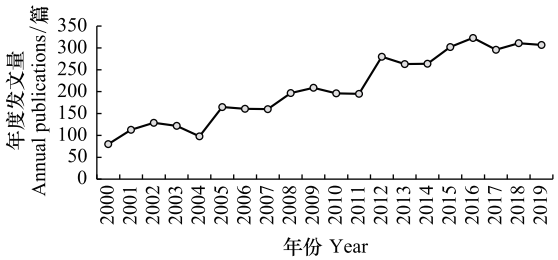

图 1　论文数量年际变化

Fig.1　Inter-annual change in the number of publications

表 1　发文量排名前 20 期刊

Table 1　Top 20 journals of publications

期刊名称 Journal name	发文量 Number of publications	总被引次数 Total number of citations	篇均被引次数 Research citations per paper	影响因子(2019 年) Impact Factor (2019)
Science of the total environment	241	5273	22	6.6
Biogeochemistry	138	6489	47	4.2
Journal of hydrology	137	5845	43	4.5
Journal of environmental quality	128	4531	35	2.1
Hydrological processes	105	2549	24	3.3
Environmental monitoring and assessment	103	1565	15	1.9
Hydrology and earth system sciences	84	1921	23	5.2
Journal of the american water Resources association	83	2550	31	2.5
Water resources research	78	3283	42	4.3
Water science and technology	72	629	9	1.6
Water	71	380	5	2.5
Water air and soil pollution	70	1417	20	1.9
Agriculture ecosystems & environment	67	1756	26	4.2
Environmental science and pollution research	62	738	12	3.1
Journal of geophysical research-biogeosciences	62	1413	23	3.4
Agricultural water management	57	1301	23	4.0
Journal of environmental Management	56	1446	26	5.7
Ecological engineering	51	1617	32	3.5
Environmental science & technology	51	2746	54	7.9
Journal of soil and water Conservation	51	933	18	2.2

2.2　国际与机构合作

统计分析发现共有 99 个国家开展流域氮研究,且发文量多于 50 篇的国家数量为 20,占国家总数的 20.3%(图 2)。发文量少于 10 篇、10—50 篇和多于 50 篇的国家数量分别为 54、25 和 20,各占国家总数的 54.5%、25.2%和 20.3%。美国的发文量最多,共计 1619 篇,占论文总量的 38.8%。中国的发文量排名第二(857 篇,占 20.5%),其次为英国(264 篇,占 6.3%)、加拿大(260 篇,占 6.2%)和德国(208 篇,占 5%)。美国是国际合作的主导者,与中国、加拿大、英国和韩国的合作较为紧密,合作次数分别为 146、52、40、31 次。中国是国际合作的另一核心力量,与美国、日本、加拿大和英国的合作最为频繁,合作次数分别为 146、30、27、23 次。

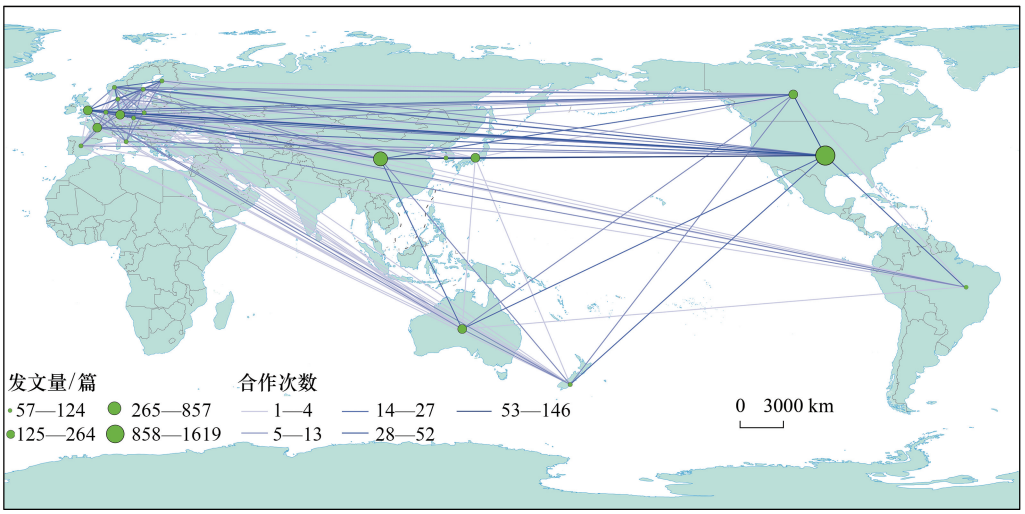

图 2 国际合作网络

Fig.2 International cooperation network

统计分析发文机构,发现共有 3106 家机构开展流域氮研究。其中,发文量低于 10 篇的机构共 2932 家,占机构总数的 94.1%。在发文量排名前 20(>40 篇)的机构中,来自美国和中国机构分别有 15 和 2 所,法国、芬兰和丹麦均为 1 所(图 3)。中国科学院(Chinese Acad Sci)的发文量最多(362 篇,占论文总量的 8.7%),但其论文篇均被引次数较低,仅为 18。美国地质调查局(US Geol Survey)的发文量排名第二(134 篇),篇均被引次数为 47。美国农业部农业研究局(USDA ARS)的发文量排名第三(118 篇,篇均被引次数 37),其次为美国国家环境保护局(US EPA,95 篇,篇均被引次数 30)和美国林业部(US Forest Serv,80 篇,篇均被引次数 27)。伊利诺伊大学(Uni Illinois)的论文数量仅为 44 篇,但其篇均被引次数最高(67)。美国农业部、马里兰大学(Univ Maryland)、美国林业部、美国国家环境保护局、美国地质调查局、中国科学院和缅因大学(Univ Maine)在机构合作中的参与度较高。其中,美国地质调查局、缅因大学、美国农业部和美国林业部是早期机构合作的主导力量。近年来,中国科学院、德克萨斯 A&M 大学(Texas A&M Univ)和北京师范大学(Beijing Normal Univ)成为机构合作的重要力量(图 3)。

2.3 学科交叉

2000—2019 年间,流域氮研究共涵盖 91 种学科类型。研究涉及 2 种及以上学科类型论文共计 2365 篇(占论文总量的 56.5%),学科类型数量由 2000 年的 23 增长至 2019 年的 50,呈现逐年上升的趋势(图 4)。上述结果表明流域氮是一门多学科交叉的研究领域,且学科交叉的程度不断加深。环境科学(Environmental science)、水资源学(Water resource)、地质学及多科学(Geosciences multidisciplinary)、生态学(Ecology)和环境工程学(Engineering environmental)是领域氮研究中的重点学科类型,包括的论文数量分别为 2151、1280、779、513 篇和 444 篇。

根据学科类型之间的交叉程度,论文数量排名前 20 的学科类型可被分成 3 组(图 5)。其中组 1 中的代表性学科类型为环境科学、水资源学、地质学及多科学、生态学和海洋与淡水生物学(Marine freshwater biology)。基于 Web of Science 中对学科类型的定义,这些学科重点关注流域中氮的特征(如形态和浓度)、氮的生物地球化学循环过程以及氮对水质和生物的影响。组 2 中的主要学科类型包括土壤科学(Soil science)、气象与大气科学(Meteorology atmospheric science)、农学(Agronomy)和林学(Forestry),它们主要研究降雨量和土壤氮含量对流域氮输出的影响以及人类活动(如农业生产和林业退化)驱动下流域中氮的分布特点。组 3 中的学科类型包括环境工程学、土木工程学(Engineering civil)和农业工程(Agricultural engineering),这组学科重点探讨工程措施对流域中氮负荷的削减效果。

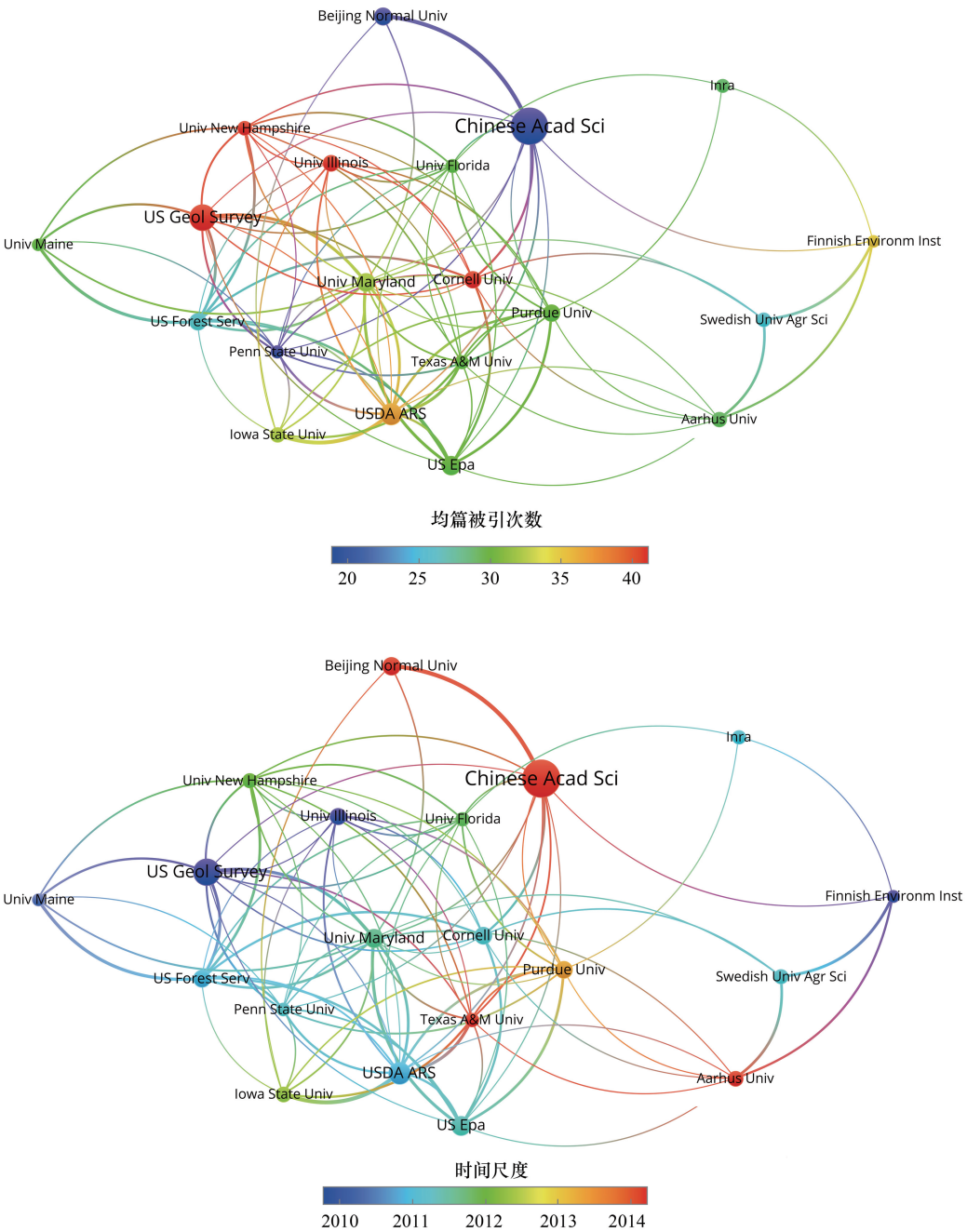

图 3　机构合作网络及合作主导力量的演替

Fig.3　Institutional cooperation network and replacement of leading institutions

图中圆圈的大小与机构的发文量成正比,连线的粗细代表机构合作次数的多少

2.4　研究主题与演变

统计分析发文研究主题与演变,关键词共词网络表明,流域氮的研究主要由氮的形态与转化、营养盐与富营养化以及水质与管理 3 个主题组构成(图 6)。生物地球化学循环(biogeochemistry)视角下,探究氮的形态与转化是流域氮领域重要研究方向。流域中氮的生物地球化学循环过程,是外部因素和内部因素共同驱动的结果。其中,外部驱动因素的研究主要关注水文特征(hydrology)、地下水输入(groundwater)、大气干湿沉降(atmospheric deposition)、土壤硝酸盐淋失(nitrate leaching)等对流域中氮输入和输出过程的影响[32—34]。内部驱动因素的研究重点关注微生物作用下流域中氮的硝化(nitrification)、反硝化过程(denitrification)[35—36]。稳

定性同位素技术(stable isotopes)是追踪流域中氮的来源、定量解析氮的生物地球化学循环的重要技术手段[37]。

氮(nitrogen)、磷(phosphorus)等营养盐(nutrient)过量输入引起的富营养化(eutrophication)是流域氮研究的另一重要主题。农业生产(agriculture)过程中人工合成化肥的广泛使用,是导致流域中营养盐大量富集的重要原因[38—39]。富营养化是流域内溪流(stream)、河流(river)、河口(estuary)等水域生态系统水质退化的重要表征,也是流域生态系统管理和服务功能提升亟需解决的首要任务[40—42]。富营养化引发的水质退化会改变流域中浮游生物、鱼类、大型底栖动物等重要水生生物类群的群落结构,进而影响流域生态系统的稳定性与服务功能[43—45]。

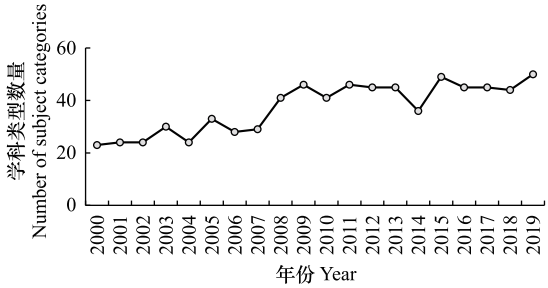

图 4 学科类型数量的年际变化

Fig.4 Inter-annual change in the number of subject categories

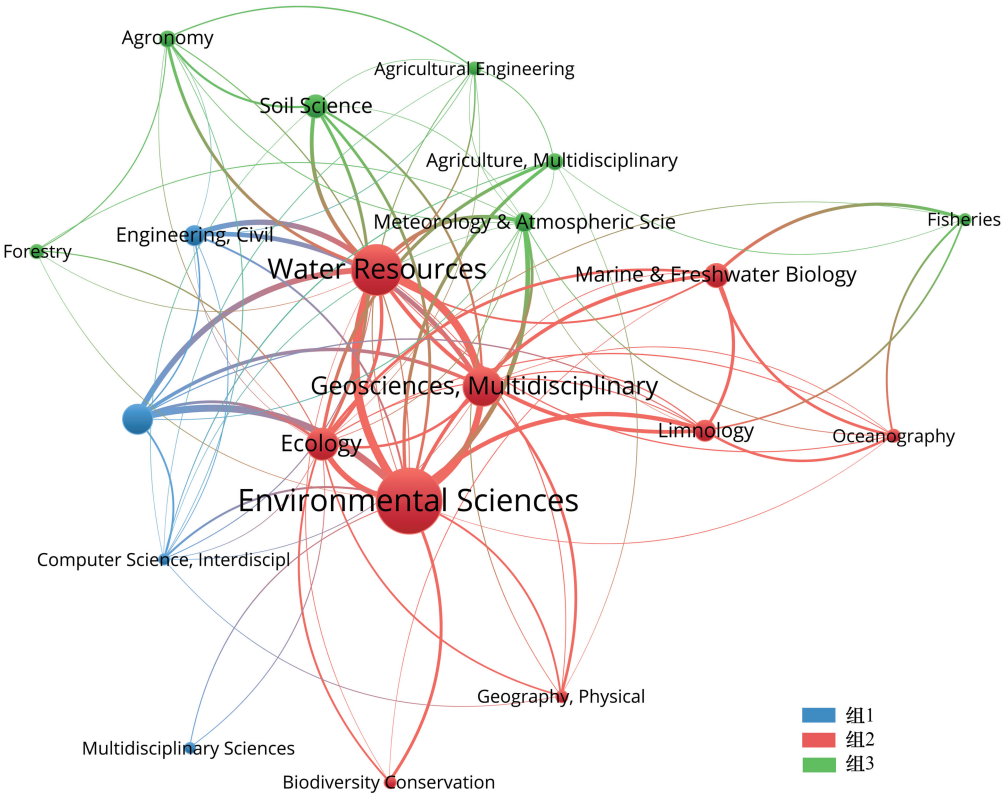

图 5 学科交叉网络

Fig.5 Interdisciplinary network with top 20 productive subject categories

图中圆圈的大小与学科类型所包含的论文数量成正比,连线的粗细代表学科类型交叉程度成正比

水质(water quality)时空动态与机理是流域氮研究的基础科学问题,且水质管理是流域生态系统服务功能提升的重要目标[46—47]。城市化(urbanization)进程中土地利用(land use)的改变以及气候变化(climate change)驱动下径流量(runoff)的变化是影响流域水质的重要原因[32,48—49]。最优管理措施(best management practices)是流域水质管理的重要方法,主要通过调节流域中土壤侵蚀(soil erosion)和养分循环过程控制面源污染(non-point source pollution)[50]。遥感(remote sensing)、地理信息系统(geographic information systems,

GIS)、土-水评估工具模型(SWAT model)等可用于预测土地管理措施对流域内径流与营养盐流失影响,辅助和优化流域中水质的管理[51—53]。

共词网络的时间尺度分析结果表明,在 2010—2019 年间,流域氮的研究主题发生了明显的演变(图 6)。在 50 个最常用的关键词中,生物地球化学、大气沉降、硝酸盐淋失、氮饱和、侵蚀、流域建模、地理信息系统等

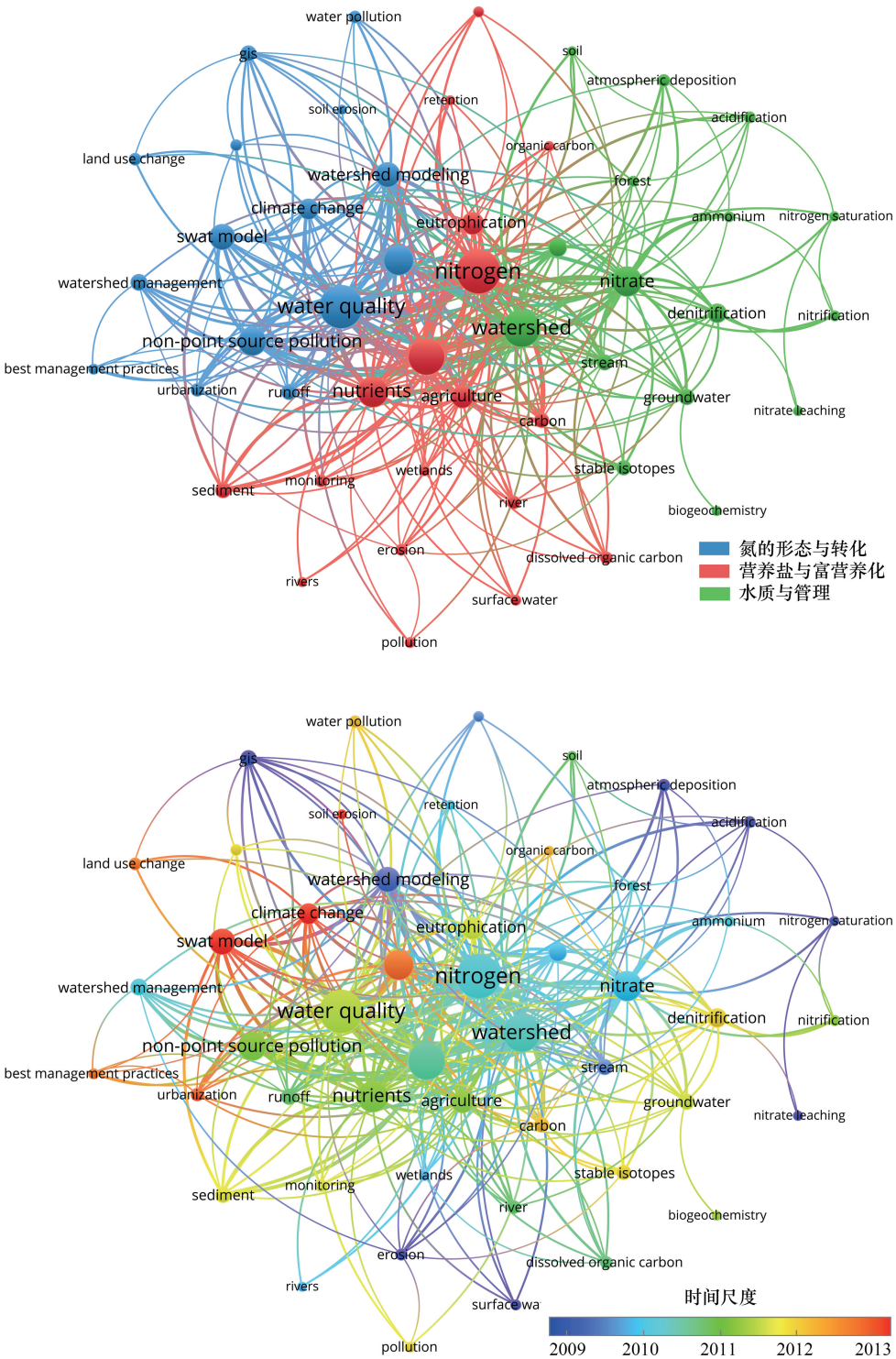

图 6　研究主题与趋势

Fig.6　Research themes and trends

图中圆圈大小与关键字的出现频率成正比,线条粗细与关键字之间的共现频次成正比

词在早期研究中的出现频次较高,表明以往研究主要关注氮的生物地球化学循环以及模型和地理信息系统在预测流域中硝酸盐淋失、土壤侵蚀与酸化等过程中的应用。气候变化、SWAT 模型、土地利用、城市化与最优管理措施等词在近期发表的论文中出现频次较高,表明当前及未来研究重点关注土地利用、气候变化、城市化等因素对流域的影响以及 SWAT 等水文模型与最优管理措施在流域管理中的应用。

3 结论与展望

基于 Web of Science 核心合集数据库作为文献检索平台,利用科学图谱方法与 VOSviewer、Bibexcel 等可视化软件,从论文数量与期刊分布、国际与机构合作、学科交叉以及研究主题与演变 4 个方面揭示了流域氮领域的研究进展。2000—2019 年间,该领域发文量呈现逐年增长的趋势,且研究呈现多学科交叉的特点。美国和中国是国际合作的主导力量,美国地质调查局、缅因大学、美国农业部、中国科学院、北京师范大学是机构合作的重要力量。氮的形态与转化、营养盐与富营养化以及水质与管理是该领域的主要研究主题。

未来研究需重点关注流域氮动态的驱动机制以及流域氮管理措施的优化。在流域氮动态的驱动机制方面,应量化气候变化背景下径流量等水文特征以及城市化、农业发展等人类活动驱动下土地利用类型转变对流域中氮循环和氮负荷的影响。驱动因素与氮响应关系的量化,需将气温、降雨量等气象数据表征气候变化的指标和土地利用类型占比、人口密度等指示人类活动的指标纳入流域氮的监测和研究体系,充分发挥遥感等技术在高频观测与数据库构建中的优势,并借助水文水动力模型模拟气候变化与人类活动耦合作用下流域中氮的时空分布。

在流域氮管理措施优化方面,应以流域“山水林田湖草生命共同体”的理论构建基于自然的管理方案,并评估管理措施对流域生态系统供给服务(如饮用水和食物)、调节服务(如水质净化和洪水控制)、文化服务(如旅游收益和自然遗产)、支持服务(如生物多样性维持)等的影响。随着点源污染控制技术不断完善,面源污染成为流域氮管理面临的主要挑战。土-水评估工具模型(SWAT)可以量化土地利用类型、水文、气象和管理措施变化对流域中氮负荷时空分布的影响,是在流域尺度上开展面源污染管理的重要方法。SWAT 模型与最优管理措施(BMPs)的联用,不仅可以识别流域内氮面源污染管理的重点区域,也能在权衡流域生态系统服务价值与经济效益的前提下制定面源管理的最佳措施,进而实现流域生态系统的可持续发展。

参考文献(References):

[1] Kumar K, Goh K M. Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance. European Journal of Agronomy, 2002, 16(4): 295-308.

[2] 何杰, 李冰, 王昌全, 李玉浩, 杨帮凤, 张敬昇, 向毫, 尹斌, 李鸿浩. 不同施氮处理对水稻油菜轮作土壤氮素供应与作物产量的影响. 中国农业科学, 2017, 50(15): 2957-2968.

[3] Jacquemin C, Bertrand C, Oursel B, Thorel M, Franquet E, Cavalli L. Growth rate of alpine phytoplankton assemblages from contrasting watersheds and N-deposition regimes exposed to nitrogen and phosphorus enrichments. Freshwater Biology, 2018, 63(10): 1326-1339.

[4] 朱爱民, 刘家寿, 胡传林, 吴晓辉, 程临英, 彭建华, 俞伏虎, 杨大兴. 湖北浮桥河水库浮游植物初级生产力及其管理. 湖泊科学, 2007, 19(3): 340-344.

[5] 蔡琳琳, 朱广伟, 李向阳. 太湖湖岸带浮游植物初级生产力特征及影响因素. 生态学报, 2013, 33(22): 7250-7258.

[6] Räike A, Pietiläinen O P, Rekolainen S, Kauppila P, Pitkänen H, Niemi J, Raateland A, Vuorenmaa J. Trends of phosphorus, nitrogen and chlorophyll *a* concentrations in Finnish rivers and lakes in 1975—2000. Science of the Total Environment, 2003, 310(1/3): 47-59.

[7] 林杉, 冯明磊, 胡荣桂, 刘仁燕, 魏谋勇, 姜诚. 三峡库区小流域农户氮循环和排放特征. 环境科学, 2010, 31(3): 632-638.

[8] 栾江, 仇宏伟, 赵静. 中国农业生产中化肥过度使用状况及地域分布差异. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2018, 35(1): 40-48.

[9] 吕笑天, 吕永龙, 宋帅, 王铁宇. 气候变化与人类活动双重驱动的冷水湖泊富营养化. 生态学报, 2017, 37(22): 7375-7386.

[10] Vadeboncoeur Y, Jeppesen E, Zanden M J V, Schierup H H, Christoffersen K, Lodge D M. From Greenland to green lakes: cultural eutrophication and the loss of benthic pathways in lakes. Limnology and Oceanography, 2003, 48(4): 1408-1418.

[11] 陈建耀, 王亚, 张洪波, 赵新峰. 地下水硝酸盐污染研究综述. 地理科学进展, 2006, 25(1): 34-44.

[12] 司友斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化. 土壤, 2000, 32(4): 188-193.

[13] 杨威, 孙雨琛, 张婷婷, 刘琪, 黄悦, 葛茜, 邓道贵. 富营养化对小型湖泊浮游甲壳动物群落结构及多样性的影响. 生态学报, 2020, 40(14): 4874-4882.

[14] Brookshire E N J, Gerber S, Webster J R, Vose J M, Swank W T. Direct effects of temperature on forest nitrogen cycling revealed through analysis of long-term watershed records. Global Change Biology, 2011, 17(1): 297-308.

[15] 李恒鹏, 陈伟民, 杨桂山, 聂小飞. 基于湖库水质目标的流域氮、磷减排与分区管理—以天目湖沙河水库为例. 湖泊科学, 2013, 25(6): 785-798.

[16] 徐国策, 李占斌, 李鹏, 黄萍萍, 龙菲菲. 丹江中游典型小流域土壤总氮的空间分布. 地理学报, 2012, 67(11): 1547-1555.
[17] 张利民, 王水, 韩敏, 何卿, 潘国权, 王春. 太湖流域望虞河西岸地区氮磷污染来源解析及控制对策. 湖泊科学, 2010, 22(3): 315-320.
[18] 全为民, 严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施. 生态学报, 2002, 22(3): 291-299.
[19] 高云峰, 徐友宁, 祝雅轩, 张江华. 矿山生态环境修复研究热点与前沿分析—基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的大数据可视化研究. 地质通报, 2018, 37(12): 2144-2153.
[20] Boomer K M B, Weller D E, Jordan T E, Linker L, Liu Z J, Reilly J, Shenk G, Voinov A A. Using multiple watershed models to predict water, nitrogen, and phosphorus discharges to the Patuxent Estuary. Journal of the American Water Resources Association, 2013, 49(1): 15-39.
[21] Ouyang W, Gao X, Wei P, Gao B, Lin C Y, Hao F H. A review of diffuse pollution modeling and associated implications for watershed management in China. Journal of Soils and Sediments, 2017, 17(6): 1527-1536.
[22] 穆卉, 王竞, 赵颖, 王林芳. 流域中氮素迁移转化的研究进展. 山西科技, 2019, 34(2): 31-34.
[23] 张汪寿, 李叙勇, 杜新忠, 郝韶楠. 流域人类活动净氮输入量的估算、不确定性及影响因素. 生态学报, 2014, 34(24): 7454-7464.
[24] 胡泽文, 孙建军, 武夷山. 国内知识图谱应用研究综述. 图书情报工作, 2013, 57(3): 131-137, 84.
[25] 高懋芳, 邱建军, 刘三超, 刘宏斌, 王立刚, 逄焕成. 基于文献计量的农业面源污染研究发展态势分析. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1140-1150.
[26] 胡远妹, 周俊, 刘海龙, 高敏, 周静. 基于 Web of Science 对土壤重金属污染修复研究的计量分析. 土壤学报, 2018, 55(3): 707-720.
[27] 李苗苗, 夏万才, 王猛, 栾晓峰. 基于文献计量的中国自然保护地监测研究. 生态学报, 2020, 40(6): 2158-2165.
[28] 戴培超, 张绍良, 刘润, 杨永均. 生态系统文化服务研究进展—基于 Web of Science 分析. 生态学报, 2019, 39(5): 1863-1875.
[29] Van Eck N J, Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, 2010, 84(2): 523-538.
[30] Chen C M. CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3): 359-377.
[31] 廖胜姣. 科学知识图谱绘制工具 VOSviewer 与 Citespace 的比较研究. 科技情报开发与经济, 2011, 21(7): 137-139.
[32] Brauman K A. Hydrologic ecosystem services: linking ecohydrologic processes to human well-being in water research and watershed management. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2015, 2(4): 345-358.
[33] Raymond P A, Saiers J E, Sobczak W V. Hydrological and biogeochemical controls on watershed dissolved organic matter transport: pulse-shunt concept. Ecology, 2016, 97(1): 5-16.
[34] Covino T. Hydrologic connectivity as a framework for understanding biogeochemical flux through watersheds and along fluvial networks. Geomorphology, 2017, 277: 133-144.
[35] Mihiranga H K M, Jiang Y, Li X Y, Wang W, De Silva K, Kumwimba M N, Bao X, Nissanka S P. Nitrogen/phosphorus behavior traits and implications during storm events in a semi-arid mountainous watershed. Science of the Total Environment, 2021, 791: 148382.
[36] Setälä H M, Francini G, Allen J A, Hui N, Jumpponen A, Kotze D J. Vegetation type and age drive changes in soil properties, nitrogen, and carbon sequestration in urban parks under cold climate. Frontiers in Ecology and Evolution, 2016, 4: 93.
[37] Guo J X, Zuo P, Yang L, Pan Y, Wang L C. Quantitative identification of non-point sources of nitrate in urban channels based on dense in-situ samplings and nitrate isotope composition. Chemosphere, 2021, 263: 128219.
[38] Schindler D W, Carpenter S R, Chapra S C, Hecky R E, Orihel D M. Reducing phosphorus to curb lake eutrophication is a success. Environmental Science & Technology, 2016, 50(17): 8923-8929.
[39] Hobbie S E, Finlay J C, Janke B D, Nidzgorski D A, Millet D B, Baker L A. Contrasting nitrogen and phosphorus budgets in urban watersheds and implications for managing urban water pollution. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 114(16): 4177-4182.
[40] Dodds W K, Smith V H. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. Inland Waters, 2016, 6(2): 155-164.
[41] Gooddy D C, Lapworth D J, Bennett S A, Heaton T H E, Williams P J, Surridge B W J. A multi-stable isotope framework to understand eutrophication in aquatic ecosystems. Water Research, 2016, 88: 623-633.
[42] Paerl H W, Gardner W S, Havens K E, Joyner A R, McCarthy M J, Newell S E, Qin B Q, Scott J T. Mitigating cyanobacterial harmful algal blooms in aquatic ecosystems impacted by climate change and anthropogenic nutrients. Harmful Algae, 2016, 54: 213-222.
[43] Seehausen O, Van Alphen J J M, Witte F. Cichlid fish diversity threatened by eutrophication that curbs sexual selection. Science, 1997, 277(5333): 1808-1811.
[44] Östman Ö, Eklöf J, Eriksson B K, Olsson J, Moksnes P O, Bergström U. Top-down control as important as nutrient enrichment for eutrophication effects in North Atlantic coastal ecosystems. Journal of Applied Ecology, 2016, 53(4): 1138-1147.
[45] Poikane S, Ritterbusch D, Argillier C, Białokoz W, Blabolil P, Breine J, Jaarsma N G, Krause T, Kubečka J, Lauridsen T L, Nõges P, Peirson G, Virbickas T. Response of fish communities to multiple pressures: development of a total anthropogenic pressure intensity index. Science of the Total Environment, 2017, 586: 502-511.
[46] Álvarez-Cabria M, Barquín J, Peñas F J. Modelling the spatial and seasonal variability of water quality for entire river networks: relationships with natural and anthropogenic factors. Science of the Total Environment, 2016, 545-546: 152-162.
[47] Motew M, Chen X, Booth E G, Carpenter S R, Pinkas P, Zipper S C, Loheide II S P, Donner S D, Tsuruta K, Vadas P A, Kucharik C J. The influence of legacy P on lake water quality in a Midwestern agricultural watershed. Ecosystems, 2017, 20(8): 1468-1482.
[48] Hale R L, Turnbull L, Earl S R, Childers D L, Grimm N B. Stormwater infrastructure controls runoff and dissolved material export from arid urban watersheds. Ecosystems, 2015, 18(1): 62-75.
[49] Rissman A R, Carpenter S R. Progress on nonpoint pollution: barriers & opportunities. Daedalus, 2015, 144(3): 35-47.
[50] Misra A K, Pachouri A, Kaur A. Watershed management structures and decision making frameworks. Water Resources Management, 2015, 29(13): 4849-4861.
[51] Francesconi W, Srinivasan R, Pérez-Miñana E, Willcock S P, Quintero M. Using the soil and water assessment tool (SWAT) to model ecosystem services: a systematic review. Journal of Hydrology, 2016, 535: 625-636.
[52] Gabriel M, Knightes C, Cooter E, Dennis R. Evaluating relative sensitivity of SWAT-simulated nitrogen discharge to projected climate and land cover changes for two watersheds in North Carolina, USA. Hydrological Processes, 2016, 30(9): 1403-1418.
[53] Ricci G F, De Girolamo A M, Abdelwahab O M M, Gentile F. Identifying sediment source areas in a Mediterranean watershed using the SWAT model. Land Degradation & Development, 2018, 29(4): 1233-1248.