

基于文献计量学分析泥沙来源研究进展与热点

党真^{1,3}, 杨明义^{1,2,4}, 张加琼^{1,2}

(1.中国科学院 水利部 水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,

陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

3.中国科学院大学, 北京 100049; 4.中国科学院 第四纪科学与全球变化卓越创新中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要:明确流域或区域泥沙来源对水土保持措施科学布局有重要意义。为了更好地掌握泥沙来源研究的发展动态,研究借助文献计量方法与可视化工具——CiteSpace 软件,对中国知网(CNKI)总库和 Web of Science 数据库迄今关于泥沙来源的所有文献进行收集分析,探寻当前该领域的研究热点,为未来的发展研究提供参考。对检索获取的 6 000 余篇中文和英文文献的分析发现,当前泥沙来源研究的主要对象包括淤地坝、小流域、河流与盆地。研究热点主题主要包括泥沙输移、泥沙形态和土壤侵蚀;热点研究内容注重对环境效应、影响因素等进行综合研究;热点研究手段是复合指纹识别技术。关键词突现图和时区图展现的前沿研究趋势显示,在重点研究区要重建流域泥沙来源历史的演变规律;指纹识别法作为热点研究手段则亟需科学的试验设计来验证该方法的准确性;将来的研究则侧重于形成类似“复合指纹系统工具”的工具,服务于流域管理、侵蚀泥沙产生的环境风险预测等方面。

关键词:泥沙来源; 土壤侵蚀; 可视化分析; CiteSpace; 复合指纹识别

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2022)05-0398-06

Research Hotspots and Progresses of Sediment Sources Based on Bibliometrics Method

DANG Zhen^{1,3}, YANG Mingyi^{1,2,4}, ZHANG Jiaqiong^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of

Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2.Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4.CAS Center for Excellence in Quaternary Science and Global Change, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: It is of great significance for the reasonable arrangement of soil and water conservation measures to clarify the sediment source. We explored the current hotspots and frontiers of sediment source research based on the summary of study progresses of this field by jointly using the literature metrology method and a visualization tool named CiteSpace software. The data included in the analysis derived from more than 6 000 literatures in the China National Knowledge Internet (CNKI) and Web of Science databases to date. This research aims to provide evidence for the improvement of sediment source study in the future. The results showed that current research objects of sediment source included check dam, small watershed, rivers and basin, the hotspots included the sediment transport, sediment form, and soil erosion. The researches focus on comprehensive studies on environmental effects and influencing factors. The robust research method is compound fingerprint identification technology. The research trend of keywords in relation to map and timezone map show that the evolution law of sediment source history should be reconstructed in the key research areas. As a robust research method, fingerprint identification is in urgent need of scientific experimental design to verify the accuracy of this method. Future research will focus on developing tools similar to the composite

收稿日期: 2021-02-03

修回日期: 2021-11-03

资助项目: 国家自然科学基金项目(42077068, 41671281)

第一作者: 党真(1997—), 女, 四川绵阳人, 在读硕士研究生, 研究方向土壤侵蚀。E-mail: Dzzzhen@163.com

通信作者: 杨明义(1970—), 男, 山东莱州人, 博士, 研究员, 主要从事土壤侵蚀研究。E-mail: ymyzly@163.com

fingerprint system tool used for watershed management and prediction of environmental risk resulting from sediment erosion.

Keywords: sediment sources; soil erosion; visual analysis; CiteSpace; compound fingerprint identification

泥沙是土壤侵蚀的重要产物,其对土地生产力、水环境健康、人类健康、航运、水库管理、区域经济社会发展等均具有重要的影响。有效的水土保持措施通过防控水土流失削弱泥沙产生的危害。确定侵蚀强度及其空间分布可为水土保持措施的制定提供科学依据,明晰泥沙源地及其贡献则为揭示土壤侵蚀强度及其空间分布提供可行途径。因而,泥沙来源研究是水土保持措施制定的重要前提之一。只有“因源制宜”,才可以以较低的人力物力成本取得较好的水土保持成果^[1]。

泥沙来源研究的技术与方法随着泥沙来源研究工作的开展逐渐革新。其从最初的径流小区观测法、水文资料分析法、调查法,发展到元素示踪、指纹识别技术等,极大地促进了泥沙来源研究的发展。径流小区观测法多用于侵蚀与泥沙输移典型的区域,所得结果较直观^[2-3]。水文资料分析法基于流域内不同水文站的水沙数据,差减计算不同水文站之间的产沙量,从而间接地确定泥沙来源^[4]。调查法通过结合人工野外调查和遥感技术判定泥沙来源^[2,5]。上述传统方法虽然为泥沙来源研究奠定了基础,却存在各种各样的局限性,如径流小区观测法的应用受空间尺度限制;水文资料分析法仅适用于有水文泥沙观测数据的流域;调查法所得结果精确度有限,且应用费时费力。相比传统的方法,示踪技术革新了准确识别泥沙来源的方法,然而示踪技术试验成本高,工作量大,且只适用于小区域范围,在较大空间尺度、泥沙源地较多时应用受限^[6-7]。与上述方法相比,指纹识别法将土壤各种物理^[8]、化学^[9]、生物^[10]、光学等^[11]性质作为指纹因子,不探讨研究复杂的泥沙产生和输移过程,为泥沙来源研究提供了新思路。然而单一指纹因子对多源地(≥ 3)泥沙来源辨别力有限且不确定性较大,使用多个指纹因子的复合指纹识别可提高指纹识别的泥沙来源的可信度。在于全球多个地区(黄土高原^[12]、伊朗山区^[13]、英国^[14]等地)的泥沙来源研究中得到广泛应用^[15]。虽然国内外学者采用不同的方法从多角度研究了泥沙来源,也有学者对研究进展进行了综述^[16-18],但研究成果仍然较分散,缺乏可视化的系统性梳理,不利于准确把握知识群之间错综复杂的关系,从而影响对当前的热点问题以及发展前景的准确把握。

本文采用文献计量学和科学知识图谱方法,基于引文网络可视化工具——CiteSpace,在遵循信息知识单位相似性及测度的基本运行原理基础上,着眼于

挖掘文献中蕴含的深层次知识,实现文献研读方式从主观碎片化向客观全景化的转变,直观、生动、多元化的展现目标领域的发展情况^[19-20],分析中国知网(CNKI)以及 Web of Science 数据库中关于泥沙来源的所有文献,借助其关键词(Keywords)和机构(Institution)分析功能厘清泥沙来源研究领域的发展脉络,绘制研究领域的关键演化图谱,探析泥沙来源研究前沿,分析当前的热点主题与发展方向,为进一步推进泥沙来源研究领域的发展提供有价值的参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文研究文献来源于中国知网(CNKI)总库和 Web of Science 核心合集。通过中国知网(CNKI)数据库,分别以“泥沙来源”和“土壤侵蚀”、“泥沙来源”和“侵蚀”、“泥沙来源”和“土壤流失”、“泥沙来源”和“水土流失”、“泥沙来源”和“水蚀”为关键词组进行检索。在 Web of Science 中,以(“sediment source” or “sediment sources” or “the source of sediment”) and (“soil erosion” or “erosion” or “soil loss” or “soil and water loss” or “water erosion”)检索,在对所获文献剔除重复文献、会议论文、综述、征稿和笔记后,最终筛选获得迄今(截止到 2020 年 12 月 31 日)以“泥沙来源”和“侵蚀”以及“sediment sources”和“erosion”为核心关键词的所有文献共计 6 284 篇。其中包含 CNKI 数据库文献 217 篇,Web of Science 数据库文献 6 067 篇。

1.2 研究方法

本文基于中国知网(CNKI)和 Web of Science 核心数据集,应用 CiteSpace 软件进行关键词(题目、摘要和关键词)分析,关键词出现频率越高,即受到的关注度越高,也就是该领域的热点问题。根据研究热点词和突现图,可视化呈现泥沙来源研究领域的研究热点和未来潜在研究热点,再通过时区图对研究阶段进行划分,展现该领域的历史发展脉络。

2 结果与分析

2.1 发文数量的时空分布特征

中文和英文文献发文数量统计结果显示,英文文献发文数量远大于中文发文数量,且英文发文量呈现出稳步增长的趋势,中文发文量波动变化(图 1)。国

家发文量的变化可以反映出该领域的区域研究热度。基于本研究收集的文献,选取发文量排名前十的国家,统计分析 1985 年以来的区域发文量变化(图 2)。排名前十的国家以欧洲居多。结果显示,发文量排名

前五的国家依次为:美国、中国、英国、法国和德国。这 5 个国家的发文量都呈现出稳步增长的趋势,中国在 2015—2019 年时间段内增速最大。上述现象表明对于泥沙来源的研究热度不断升高。

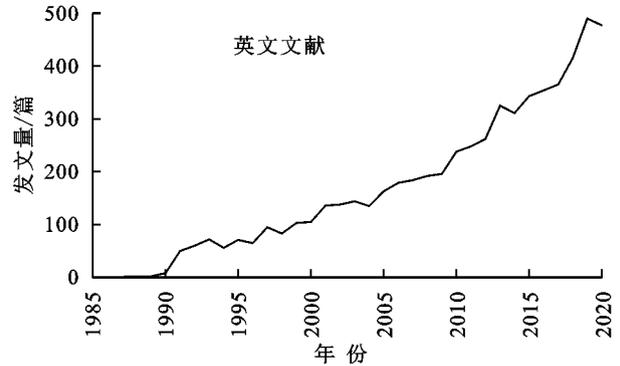
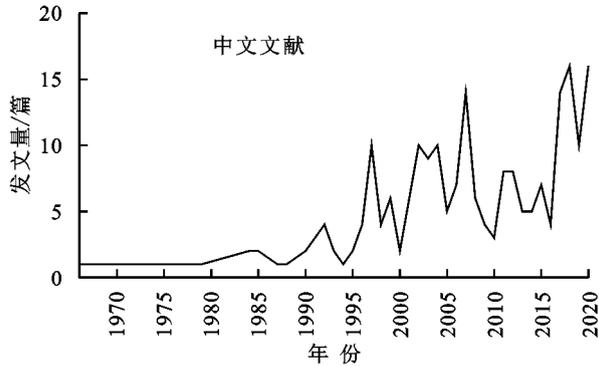


图 1 中英文文献发文时间统计

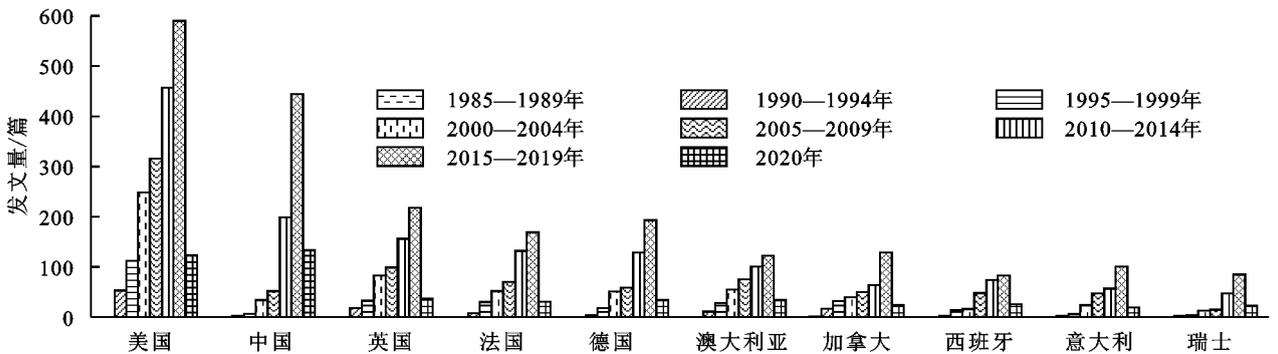


图 2 国家发文量时间变化

2.2 机构发文量分析

中心度是用来测试研究机构节点在网络中重要性的指标,并以此来发现和衡量文献的重要程度。中心度的计算公式如下^[22]:

$$BC_i = \sum_{s \neq i \neq t} \frac{n_{st}^i}{g_{st}}$$

式中: g_{st} 为节点 s 到节点 t 的最短路径数目; n_{st}^i 为从节点 s 到节点 t 的 g_{st} 条最短路径中经过节点 i 的最短路径数目。

选取两个主要的国内机构合作网络制成图 3,图谱显示科研院所是国内泥沙来源研究领域的主要力量。其中,以中国科学院水利部水土保持研究所为中心组成了该领域最大的合作网络,但图谱的密度值仅为 0.008 4,表明机构间的合作较为分散。发文量最多的机构为中国科学院水利部水土保持研究所和西北科技大学水土保持研究所,前者中心度最高,为 0.02。但是不管是中国科学院水利部水土保持研究所,还是西北农林科技大学水土保持研究所根本就是同一个单位,这也进一步说明了该研究所在国内泥沙来源研究领域的重要地位(图 3)。英文文献发文量前三的机构分别为 Chinese Academy of Sciences(中国科学院)、United States Geological

Survey(美国地质调查局)以及 Usda Agricultural Research Institute(美国农业部农业研究所),且上述三家机构中心度分别为 0.18,0.17,0.06,是该研究领域的核心单位^[21](图 4)。总体上,中英文发文量的分布特征表明,中国科学院的发文量和中心度都位居首位,在世界范围具有较强的影响力。

2.3 现行研究热点

对中英文文献出现频率排名前十关键词的提取和整合发现,热点关键词主要涉及研究对象、方法和主题 3 个方面(表 1)。研究的热点对象主要涉及 catchment(流域)、river(河流)和 basin(盆地)等不同尺度,主要包括淤地坝、黄土高原、黄河中游以及崩岗侵蚀区;研究方法主要包括指纹识别和 model(模型);研究主题囊括 erosion(侵蚀)、suspended sediment(悬浮泥沙)、sediment(沉积物)、evolution(演变)、transport(输移)过程。可见,现行的热点研究主要是运用各种方法探索不同种类的侵蚀泥沙来源及其变化过程。获得泥沙来源的信息有助于河流及流域管理,从河流到流域再到盆地,表明泥沙来源的研究领域向着更广泛的空间尺度发展,这也进一步说明了研究泥沙来源的重要性。

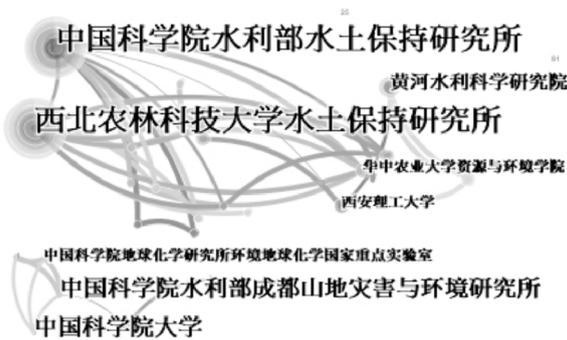


图 3 中文文献发文机构图

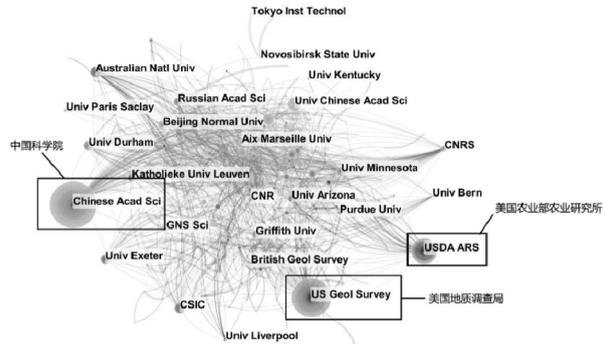


图 4 英文文献发文机构图

表 1 泥沙来源研究热点词分类

中文热点关键词		英文热点关键词
研究对象	小流域、淤地坝、黄土高原、黄河中游、崩岗	catchment(流域)、basin(盆地)、river(河流)
研究方法	指纹识别	model(模型)
热点主题	泥沙输移	evolution(演变)、transport(输移)、runoff(径流)
	泥沙形态	suspended sediment(悬浮泥沙)、sediment(泥沙)
	土壤侵蚀	erosion(侵蚀)

本研究以五年为时间切片,绘制的泥沙来源研究前沿时区图谱(图 5,6),清晰地展现了泥沙来源研究的发展演进过程^[23]。关键词出现的时间及其后继时段中出现频次形成的累加效应(用关键词所在节点斑块面积的大小表示)展示了相关研究出现的时间和重要性。结果表明在 1990 年之前,中文文献研究侧重于土壤侵蚀量、产沙量、土壤流失量等关于泥沙量的定量研究^[24-25],而 1990 年后,研究者开始关注泥沙来

源的主要影响因素,例如土地利用、人类活动等(图 5)。近年来,极端气候(暴雨、洪水等)对泥沙来源的影响引起瞩目^[26-27],在暴雨情况下,明晰流域、河流泥沙来源的特征,对优化水土保持措施,提高其抵御极端降雨的危害具有重要作用。在整个研究过程中,“黄河中游”、“粗泥沙”、“粗泥沙集中来源区”一直备受关注,可见在黄河中游区域,黄土高原作为重要的产沙源地,对黄河的健康运行影响深远。

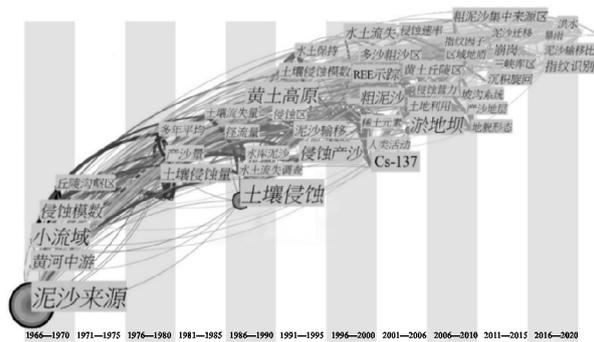


图 5 中文文献关键词时区图

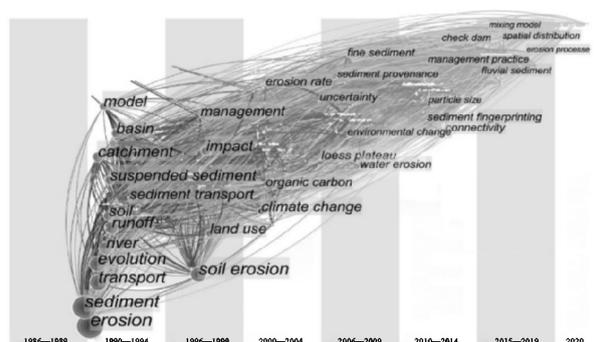


图 6 英文文献关键词时区图

中英文文献的统计结果表明在研究泥沙来源的同时,均十分关注泥沙来源的影响因素,如“climate change”、“management/ management practices”、“land use”、“environmental change”等。而英文文献同时也关注指纹识别法方法本身的发展,通过分析“model/ mixing model”、“organic carbon”、“particle size”等影响复合指纹识别准确性的关键方面,分析方法的不足对泥沙来源判别结果不确定性的影响(图 6)。

突现关键词是某一时期出现的高频关键词,是某一时期研究热点的集中反映,是预测未来研究趋势的重要依据^[28-29]。通过分析筛选了 5 个中文突现关键词、11 个英文突现关键词。在国内研究中,“侵蚀模数”在 1966—1985 年持续突现,是早期研究的热点问题之一,最新的突现关键词“淤地坝”和“复合指纹法”表明相关研究是在目前的研究热点(图 7)。英文文献的主要突现关键词中 loess plateau(黄土高原),还包括 fine sediment(细颗粒泥沙)、sediment fingerprinting(指纹识别)、spatial distribution(空间分布)、trend(趋势)、speciation(形态)、land use change(土地利用变化)、check dam(淤地坝)、sediment provenance(沉积物来源)、surface sediment(表面泥沙)和 fluvial sediment(河流泥沙)的突现时间均持续到文献检索的最新时间(2020 年)(图 8)。上述现象表明,未来研究的潜在热点很可能是上述突现时间较新的

关键词相关的研究领域,并对其结果的准确性、环境效应、影响因素等进行综合研究。

3 研究展望

通过文献计量学对泥沙来源研究的总体分析,从研究对象来看,“淤地坝”、“check dam(淤地坝)”、“Loess Plateau(黄土高原)”、“basin/river”(盆地/河流)仍是未来研究的热点对象/区域。其中黄土高原的突变强度高达 17.95,这与其重要的生态功能密切相关。黄土高原的生态环境是影响黄河安澜的重要

因素之一,该区域的侵蚀产沙对黄河流域的健康运行和高质量发展均具有重要影响。

可见在研究对象/区域层面,热点研究区域直接受国家需求的影响。将来的研究重点应体现在:(1)借助坝地或坝库的淤积泥沙重建流域泥沙来源的演变规律;(2)不仅要评估重大生态工程的直接减沙效益,还要借助新手段评估间接减沙效益,比如黄土高原沟间地大规模退耕,退耕的林草地能直接减少侵蚀,同时沟间地的减沙也会影响沟谷地的产沙(间接减沙效益)。

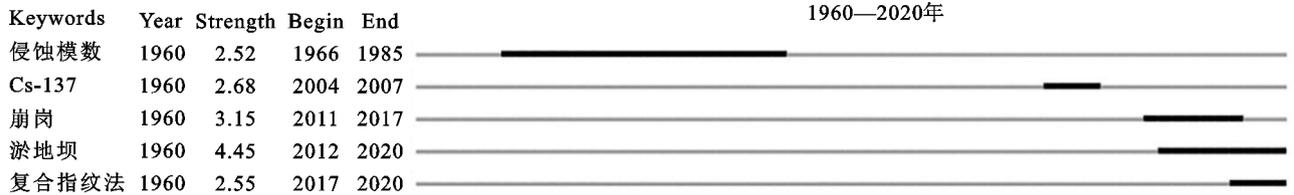


图7 中文文献突现关键词图

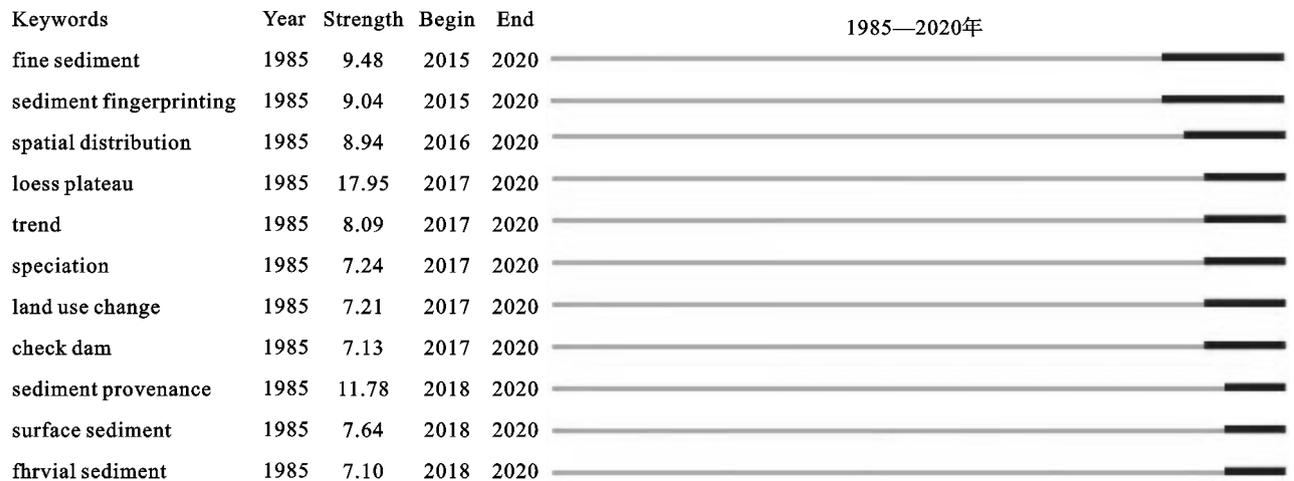


图8 英文文献突现关键词图

从研究方法来看,“复合指纹法”、“sediment fingerprinting(指纹识别)”作为泥沙来源研究的核心中英文关键词,是目前研究泥沙来源最先进的办法。然而,现行的复合指纹识别技术是在其运用过程中逐渐发展的,由于前人的研究注重运用该方法判别不同时空尺度的泥沙来源而缺乏对方法本身的系统研究,进而导致复合指纹识别法发展出了不同的指纹因子组筛选方法^[30],多种贡献率估算模型和多样的关键因子校正方法^[31-32],却一直缺乏对上述繁杂关键技术选择的可靠验证。因此,通过科学的试验设计提供精准验证,规范复合指纹识别法是目前亟待解决的问题,对提高其判别泥沙来源的准确性意义重大。

从研究内容来看,泥沙来源研究已经从定量分析发展到综合分析泥沙来源指示的环境/气候变化,土地利用类型的影响、流域连通性的作用等方面,注重对环境效应、影响因素等进行综合研究。复合指纹识别法不仅是准确定量泥沙来源的方法,更是流域管理

的工具,预测未来泥沙来源变化的手段^[33]。因此,在目前研究的基础上,系统梳理已有研究成果,建立标准的研究方法,开发软件系统,形成类似“复合指纹系统工具”的工具^[34],为泥沙来源研究及其影响因素剖析、流域管理、侵蚀泥沙产生的环境风险(小流域健康、河流安全)预测等服务。

参考文献:

- [1] 徐龙江,杨明义,刘普灵,等.指纹识别技术在泥沙来源研究中的应用进展[J].水土保持学报,2007,21(6):197-200.
- [2] 李振山,付慧真,张红武,等.泥沙来源确定方法述评[J].人民黄河,2010,32(4):46-48,52.
- [3] 魏天兴.黄土区小流域侵蚀泥沙来源与植被防止侵蚀作用研究[J].北京林业大学学报,2002,24(5):19-24.
- [4] 许炯心.长江上游不同水沙来源区产沙量变化对宜昌—汉口河段泥沙冲淤量的影响[J].泥沙研究,2007(1):36-43.
- [5] 谷国传,胡方西,张正惕.浙东淤泥质海岸的泥沙来源和塑造机理[J].东海海洋,1997,15(3):1-12.

- [6] 吴倩云. REEs 示踪技术在土壤侵蚀研究中的应用[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(32):124-126, 155.
- [7] 张信宝, 冯明义, 王安邦. 黄土高原土壤侵蚀速率和泥沙来源的¹³⁷Cs 示踪法研究[J]. 中国水土保持, 2002(7):25.
- [8] Pulley S, Van Der Waal B, Rowntree K, et al. Colour as reliable tracer to identify the sources of historically deposited flood bench sediment in the Transkei, South Africa: A comparison with mineral magnetic tracers before and after hydrogen peroxide pre-treatment[J]. Catena, 2018, 160:242-251.
- [9] Torres Astorga R, Garcias Y, Borgatello G, et al. Use of geochemical fingerprints to trace sediment sources in an agricultural catchment of Argentina[J]. International Soil and Water Conservation Research, 2020, 8(4):410-417.
- [10] 陈方鑫, 张含玉, 方怒放, 等. 利用两种指纹因子判别小流域泥沙来源[J]. 水科学进展, 2016, 27(6):867-875.
- [11] Poulencard A C, C. Legout B, J. Némery B, et al. Tracing sediment sources during floods using Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectrometry (DRIFTS): A case study in a highly erosive mountainous catchment (Southern French Alps)[J]. 2012, 414-415(1):452-462.
- [12] 杨明义, 徐龙江. 黄土高原小流域泥沙来源的复合指纹识别法分析[J]. 水土保持学报, 2010, 24(2):30-34.
- [13] Raigani Z M, Nosrati K, Collins A L. Fingerprinting sub-basin spatial sediment sources in a large Iranian catchment under dry-land cultivation and rangeland farming: Combining geochemical tracers and weathering indices[J]. Journal of Hydrology-Regional Studies, 2019, 24:100613.
- [14] Walling D E. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems[J]. Science of the Total Environment, 2005, 344(1/3):159-184.
- [15] Tang Q, Fu B J, Wen A N, et al. Fingerprinting the sources of water-mobilized sediment threatening agricultural and water resource sustainability: Progress, challenges and prospects in China[J]. Science China-Earth Sciences, 2019, 62(12):2017-2030.
- [16] 唐强, 贺秀斌, 鲍玉海, 等. 泥沙来源“指纹”示踪技术研究综述[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(3):109-117.
- [17] Walling D E. The evolution of sediment source fingerprinting investigations in fluvial systems[J]. Journal of Soils and Sediments, 2013, 13(10):1658-1675.
- [18] Collins A L, Blackwell M, Boeckx P, et al. Sediment source fingerprinting: benchmarking recent outputs, remaining challenges and emerging themes[J]. J Soils Sediments, 2020, 20(12):4160-4193.
- [19] 陈静飞, 王怀璋, 梁婷. 基于 CiteSpace 的全球炭疽研究演化及其热点可视化分析[J]. 微生物学报, 2020, 60(10):2161-2171.
- [20] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2):242-253.
- [21] 闫莎莎, 赵呈领. 非正式网络学习共同体国内研究热点与趋势分析[J]. 中国远程教育, 2013(3):27-32.
- [22] 张惠丽. 基于 CiteSpace 的教育资源知识图谱创建研究[D]. 北京: 中央民族大学, 2018.
- [23] 赵玉婷, 努尔布力, 吾守尔·斯拉木. 基于 CiteSpace 的 IPv6 地址应用研究的可视分析[J]. 现代电子技术, 2018, 41(20):1-5.
- [24] 林承坤. 长江口泥沙的来源分析与数量计算的研究[J]. 地理学报, 1989, 44(1):22-31.
- [25] 张信宝. 河流细粒泥沙来源和数量计算的一种方法: 化学元素统计法[J]. 人民黄河, 1988(5):24-27.
- [26] 王道席, 侯素珍, 杨吉山, 等. 无定河“7·26”暴雨洪水泥沙来源分析[J]. 人民黄河, 2017, 39(12):18-21.
- [27] 高海东, 李占斌, 李鹏, 等. 黄土高原暴雨产沙路径及防控: 基于无定河流域 2017-07-26 暴雨认识[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(4):66-72.
- [28] 林彩云, 梁发超. 基于 CiteSpace 的国内征地中失地农民问题研究进展[J]. 资源开发与市场, 2020, 36(6):599-605.
- [29] 庞宇舟, 尚昱志, 林基勇, 等. 基于 CiteSpace 的壮医药研究可视化分析[J]. 中南民族大学学报: 自然科学版, 2018, 37(3):53-57.
- [30] Nosrati K, Akbari-Mahdiabad M, Fiener P, et al. Using different size fractions to source fingerprint fine-grained channel bed sediment in a large drainage basin in Iran[J]. Catena, 2021, 200:105173.
- [31] Koiter A J, Owens P N, Petticrew E L, et al. Assessment of particle size and organic matter correction factors in sediment source fingerprinting investigations: An example of two contrasting watersheds in Canada[J]. Geoderma, 2018, 325:195-207.
- [32] Wen Y, Li W, Yang Z, et al. Enrichment and source identification of Cd and other heavy metals in soils with high geochemical background in the karst region, Southwestern China[J]. Chemosphere, 2020, 245:125620.
- [33] Mukundan R, Walling D E, Gellis A C, et al. Sediment source fingerprinting: Transforming from a research tool to a management tool[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2012, 48(6):1241-1257.
- [34] Pulley S, Collins A L. Tracing catchment fine sediment sources using the new SIFT (Sediment Fingerprinting Tool) open source software[J]. Sci Total Environ, 2018, 635:838-858.