

基于文献计量的畜禽养殖废弃物新污染物研究态势分析

曹燕, 胡双庆, 沈根祥, 张洪昌, 王振旗, 李贞金

引用本文:

曹燕, 胡双庆, 沈根祥, 等. 基于文献计量的畜禽养殖废弃物新污染物研究态势分析[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2296-2304.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1095>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

养殖业污染防治技术研究态势的文献计量分析

李红娜, 姜凯阳, 徐海圣, 常志州, 吴华山, 朱昌雄

农业环境科学学报. 2021, 40(6): 1314-1325 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1378>

兽用抗生素研究的文献计量学分析

李红娜, 阿旺次仁, 李斌绪, 叶婧, 朱昌雄

农业环境科学学报. 2017, 36(11): 2297-2306 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0659>

实施清洁生产源头控制畜禽养殖污染

吴银宝, 吴根义, 廖新梯

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2283-2291 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1101>

猪粪-秸秆还田对土壤、作物重金属铜锌积累及环境容量影响研究

王琼瑶, 李森, 周玲, 王贵胤, 张楚儿, 张世熔

农业环境科学学报. 2016, 35(9): 1764-1772 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016-0336>

养殖废水处理理论与实践进展

廖新梯

农业环境科学学报. 2021, 40(11): 2317-2319 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-1133>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

曹燕, 胡双庆, 沈根祥, 等. 基于文献计量的畜禽养殖废弃物新污染物研究态势分析[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(11): 2296–2304.

CAO Y, HU S Q, SHEN G X, et al. Research trend of emerging contaminants in livestock and poultry wastes based on bibliometric analysis [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(11): 2296–2304.



开放科学 OSID

基于文献计量的畜禽养殖废弃物新污染物研究态势分析

曹燕, 胡双庆, 沈根祥*, 张洪昌, 王振旗, 李贞金

(上海市环境科学研究院, 国家环境保护新型污染物环境健康影响评价重点实验室, 上海 200233)

摘要:近年来畜禽养殖行业抗生素、激素等新污染物受到广泛关注,本研究利用CiteSpace软件对畜禽养殖废弃物新污染物的研究动态进行文献计量分析,得出了该领域的研究态势、热点和知识主题演化历程等,并提出下一步研究的重点方向与控制对策建议。研究发现,畜禽养殖废弃物新污染物的相关研究近年来呈现出发文量高速增长的趋势,我国和美国在该研究领域影响力表现突出;以抗生素和激素类为主的新污染物的来源、环境行为归趋和分析检测技术等方面是该领域主要的研究热点;新污染物的潜在生态环境与健康风险研究将成为未来重点关注的方向;在污染防治方面,建议强化对养殖业投入品使用和养殖废弃物处置及排放的监管,并对畜禽养殖新污染物减排和控制关键技术及工程应用的研究加大投入。

关键词:文献计量;畜禽养殖;新污染物;CiteSpace

中图分类号:G353.1;X713 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2021)11-2296-09 doi:10.11654/jaes.2021-1095

Research trend of emerging contaminants in livestock and poultry wastes based on bibliometric analysis

CAO Yan, HU Shuangqing, SHEN Genxiang*, ZHANG Hongchang, WANG Zhenqi, LI Zhenjin

(State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Health Impact Assessment of Emerging Contaminants, Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

Abstract: Emerging contaminants, such as antibiotics and hormones, in the livestock and poultry breeding industry have attracted wide attention in recent years. This study conducted a bibliometric analysis of the research dynamics of emerging contaminants in livestock and poultry wastes using CiteSpace software, and obtained the research advances, hot topics, and evolution of knowledge in this field. The research in this field showed a trend of rapid growth in recent years, and China and the United States had a prominent influence. The sources, environmental behavior, and analytical techniques of emerging contaminants (mainly antibiotics and hormones) were the popular research topics in this field. Research on the potential ecological and environmental health risks of emerging contaminants would be the focus of future research. It is recommended to strengthen the regulation of inputs used in the livestock industry, control the disposal and discharge of livestock wastes, and increase the investment in key technologies and demonstration projects for the reduction and control of emerging contaminants in the livestock and poultry breeding industry.

Keywords: bibliometrics; livestock and poultry breeding; emerging contaminant; CiteSpace

近年来随着养殖业规模化程度的不断加快,畜禽养殖废弃物排放量迅速增加,由此引发了一系列环境问题,尤其是抗生素、激素等新污染物问题突出。一

方面,抗生素在畜禽养殖中的应用日益广泛,而畜禽摄入的抗生素类药物只有一小部分被吸收,大部分通过粪便和尿液排放到体外^[1-2],随着畜禽粪污还田进

收稿日期:2021-09-24 录用日期:2021-10-08

作者简介:曹燕(1990—),女,山东枣庄人,硕士研究生,主要从事环境健康与农村生态保护研究工作。E-mail:yancao@sthj.shanghai.gov.cn

*通信作者:沈根祥 E-mail:shengx@saes.sh.cn

基金项目:水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07207002)

Project supported: The Major Science and Technology Program for Water Pollution Control and Treatment(2017ZX07207002)

入农田土壤,再经地表径流进入江河湖泊等,不仅会影响环境中微生物的种群结构和平衡,还会诱发耐药基因的产生和大量传播,对人体健康产生危害^[3]。另一方面,畜禽粪尿是环境中类固醇雌激素的主要污染源之一,我国作为养殖大国,畜禽粪尿的产生量每年高达40亿t^[4]。类固醇激素作为一类典型的环境内分泌干扰物,在低剂量下就可能导致生物生殖系统的畸变及繁殖率的下降,对生态环境构成严重威胁^[5-8]。

尽管畜禽养殖行业抗生素、激素等新污染物受到广泛关注,但综述类文章较少,缺乏科学的文献计量分析,对该领域研究主题和热点演变等认知存在一定的局限性。本文基于文献计量方法,借助CiteSpace文献计量与可视化分析软件,用图谱量化国内外发表的畜禽养殖废弃物新污染物的相关研究,挖掘分析近年来畜禽养殖废弃物新污染物研究的发展趋势、优势团队、期刊载体、前沿热点、知识聚类 and 演进脉络等,评述目前国内外该领域的研究进展与主要研究内容,为畜禽养殖行业新污染物的污染防控提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 数据来源

为综合反映近年来国际与国内畜禽养殖废弃物新污染物研究进展,本研究选取Web of Science (WOS)核心合集数据库和中国知网(CNKI)核心论文数据库中的文献源。

对于外文数据,利用主题检索获取WOS数据库中代表该领域的主要研究成果的核心数据集。主题检索词为:TS=(("Livestock and poultry" or livestock or poultry or pig or swine or cattle or cow or dairy or chicken or duck) and waste* and ("Emerging contaminant*" or Antibiotic* or "Veterinary drug" or "Veterinary medicine" or Hormone or EDCs or "Endocrine disrupt*")),时间跨度选择2003—2021,检索时间为2021年3月30日。从原始记录中选取研究性论文(Article)作为有效数据,对重复文献和无效文献进行筛选,获得包含1 496篇文献的核心数据集。

对于中文数据,在CNKI中选用高级检索方式,以“主题=(畜禽养殖)*(新污染物+新型污染物+新兴污染物+抗生素+兽药+激素+内分泌干扰物)*(废弃物+污染)”进行检索,时间选取同WOS数据库一致,为2003—2021年,检索时间为2021年3月30日,对重复文献和无效文献进行筛选,最终确定89篇相关文献。

1.2 分析方法

借助CiteSpace软件对WOS和CNKI的检索数据进行可视化分析。CiteSpace是一款在科学计量学中进行数据和信息可视化分析的软件,通过多元、分时、动态的引文分析呈现科学知识的结构、规律和分布情况,形成可视化的科学知识图谱^[9]。目前CiteSpace已在文献计量分析领域得到广泛应用^[10-13]。

本研究以畜禽养殖废弃物新污染物为主题,通过发文量统计、期刊双图叠加分析探讨领域内论文的发展进程与分布特征;通过研究国家和机构的合作网络图谱,揭示该领域全球的研究力量分布和合作关系;通过关键词突现分析揭示不同发展阶段的研究热点;通过共被引网络的聚类分析提炼主要研究主题,并通过时间线图剖析研究主题演化过程,为科学把握研究热点和前沿提供定量依据。

2 结果与讨论

2.1 发表数量趋势分析

从WOS和CNKI检索得到的数据集获得国内外畜禽养殖废弃物新污染物研究的年度发文量,见图1。总体来看,国内外关于畜禽养殖废弃物新污染物的研究文献数量呈上升态势,但中文论文发文数量远低于英文论文发文数量。

从年份上看,中文论文发文量在2018年前呈现波动式增长,年发文量均低于10篇,而2018年后发文数量呈现明显上升趋势,尤其是2020年发文数量比2019年翻一番,说明近年来畜禽养殖废弃物新污染物逐步受到国内研究者关注。英文论文数量2014年前呈现波动式增长,年均增长率达15%;2014年后该领域研究进入高速发展期,年发文量平均增幅达

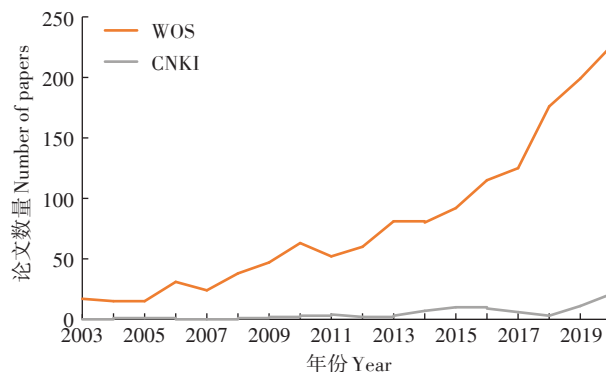


图1 2003—2020年该领域发文量

Figure 1 Research papers published from 2003 to 2020

19%,整体呈激增状态,且2016年起年发文量均过超100篇,其中2020年发文量达到最高,内容涵盖新污染物的环境分布、复合污染、去除技术、生态和健康风险及抗生素耐药基因等的相关研究。可以看出近年来畜禽养殖废弃物新污染物成为国际上的热门研究领域。

2.2 期刊来源与学科分析

学术期刊是科研成果展示的重要平台和载体。从刊载期刊来看,中文论文期刊分布较为分散,多发表于环境科学和农业环境科学领域的期刊,英文论文发表期刊多集中于环境科学、生物资源技术、生态毒理学等领域。表1和表2罗列了2003—2021年载文量及引用量前10位英文期刊,这些期刊构成了畜禽养殖废弃物新污染物研究的重要载体和知识来源。

使用CiteSpace软件进行期刊双图叠加图谱能展

示各学科文献分布、引文轨迹等,进而研究期刊间的信息传递及知识发展脉络,揭示传播规律^[14]。图2为本研究领域的期刊双图叠加图谱,左侧代表施引文献期刊学科领域,代表应用研究领域;右侧代表被引文献期刊学科领域,代表基础研究领域。图中椭圆的纵轴长度与期刊刊载的论文数量成正比,其横轴长度与发文作者数量成正比;中间连线表示在某领域内施引文献期刊与被引文献期刊的联系,其粗细疏密程度代表期刊间知识流动频率及强度关系。可以看出,图谱中有3条显著联系的连线,由“兽医学、动物科学”分别指向“化学、材料科学和物理学”“环境科学、毒理学和营养学”和“分子学、生物学和遗传学”;且“环境科学、毒理学和营养学”椭圆纵横尺度大,说明该领域论文数量和作者数量占优势。通过期刊双图叠加分析可以看出,本领域的研究跨动物学、化学、环境科

表1 载文量前10位外文期刊
Table 1 Top 10 journals of paper amount

载文前10位期刊 Top 10 journals of paper amount	载文量 Paper amount
<i>Science of the Total Environment</i>	133
<i>Bioresource Technology</i>	77
<i>Chemosphere</i>	64
<i>Environmental Science & Technology</i>	57
<i>Environmental Pollution</i>	42
<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	41
<i>Journal of Hazardous Materials</i>	39
<i>Journal of Environmental Quality</i>	35
<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>	33
<i>Environmental International</i>	27

表2 引用量前10位外文期刊
Table 2 Top 10 journals of paper citation

引用次数前10位期刊 Top 10 journals cited	引用次数 Citation
<i>Environmental Science & Technology</i>	990
<i>Science of the Total Environment</i>	940
<i>Water Research</i>	889
<i>Chemosphere</i>	888
<i>Applied and Environmental Microbiology</i>	693
<i>Environmental Pollution</i>	611
<i>Journal of Hazardous Materials</i>	553
<i>Bioresource Technology</i>	552
<i>Journal of Environmental Quality</i>	498
<i>Environmental International</i>	436

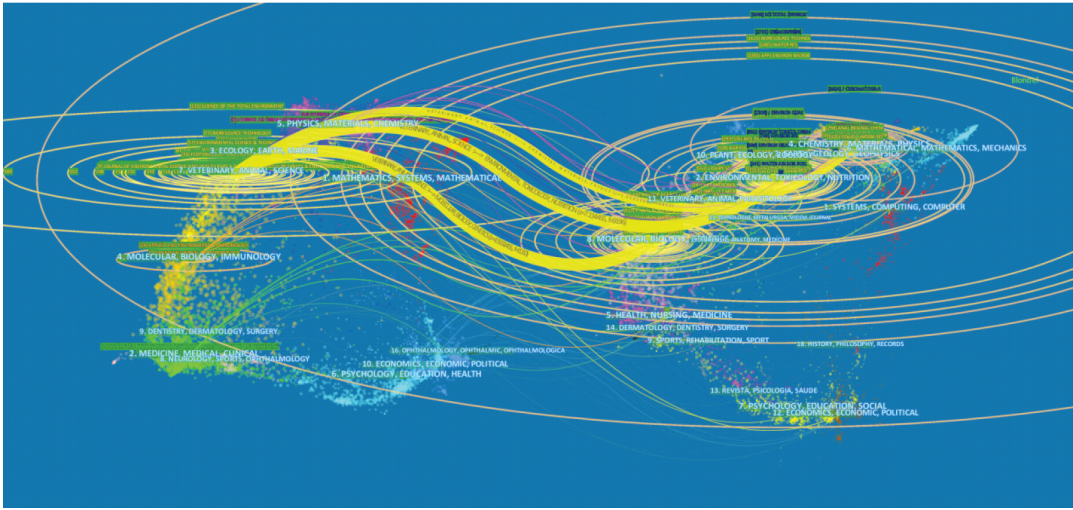


图2 期刊双图叠加知识图谱

Figure 2 Knowledge map of periodical double graph superposition

学、毒理学、生物学等学科,多学科交叉融合,并且以环境科学、生物学和化学为基础学科向更广泛的科学领域拓展,具有较大的发展潜力。

从发表论文的学科类别来看,畜禽养殖废弃物新污染物研究的文献主要集中在环境科学领域,其次为环境工程、应用微生物学、水资源、化学分析、毒理学等(图3),表明该领域为多学科共同关注的研究主题。

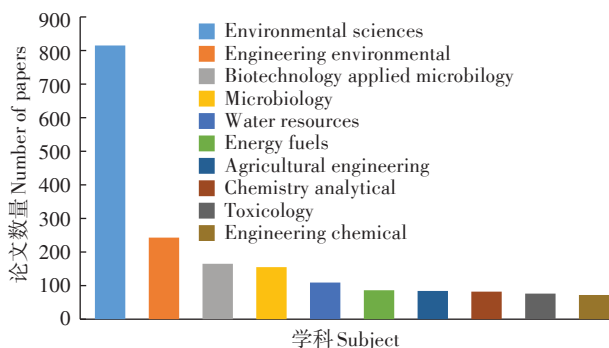


图3 论文学科类别分布

Figure 3 Subject category distribution of the papers

2.3 国家及机构合作网络分析

基于WOS数据的国家和地区合作网络能体现研究领域内各国的发展情况和合作紧密程度。根据国家合作共现图谱和相关数据(图4)可得出,发文量前5的国家依次为:中国、美国、加拿大、西班牙和韩国。中心性前5的国家依次为:美国、德国、中国、西班牙和英格兰。根据机构合作共现图谱(图5),发文量前5的机构依次为:中国科学院、美国农业部农业科学研究院、中国科学院大学、中国西北农林科技大学和中国农业大学,说明我国研究机构在该领域成果产出方面在国际上表现突出。

从国家和机构2个层面综合来看,我国在发文量上占据显著优势,在中心性上也排名靠前。说明我国在该领域的综合影响力较高;美国在本研究领域同样表现突出,尤其是影响力方面排名领先。研究机构网络节点的中心性指数普遍较低(≤ 0.05),说明该研究领域普遍关注区域性污染问题,各机构科学研究合作较少,紧密度较低,仍需进一步提高该领域国际合作能力。

2.4 研究热点及演化趋势分析

关键词是展现论文研究主题和内容的核心词汇,其出现频率可以反映出该领域的研究热点。使用CiteSpace分别对CNKI和WOS文献数据的关键词进行分析,设置时间跨度为2003—2021年,单个时间分



图4 国家合作共现图谱

Figure 4 Network of country cooperation

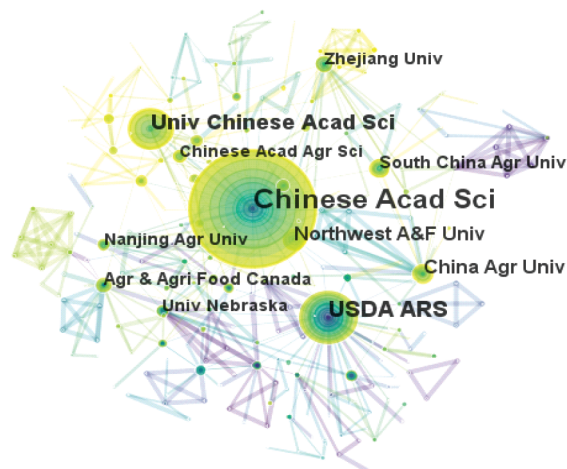


图5 国际机构合作共现图谱

Figure 5 Network of institutional cooperation

区长度为1 a,节点类型选择关键词,提取每个时区中被引频次最高的50个关键词,生成关键词知识图谱(图6、图7)。

对于CNKI数据,“抗生素”是网络中最大的1个节点,出现频次达29次;其次为“畜禽养殖”“畜禽粪便”等,出现频次均在10次以上。对于WOS数据,“废水 waste water”和“抗生素 antibiotics”是网络中最大的2个节点,出现频次分别达到387次和309次;其次为“抗生素抗性 antibiotic resistance”“土壤 soil”“兽药抗生素 veterinary antibiotics”和“归趋 fate”等,出现频次均在200次以上;其他有代表性的关键词包括“四环素 tetracycline”“粪肥 manure”“大肠杆菌 *Escherichia coli*”“降解 degradation”“去除 removal”等。可以看出,英文关键词的代表性较好,主要集中在畜禽养殖新污染物的来源、环境行为和代表性的污染物种类3个方面。结合关键词分析可知,废水、粪

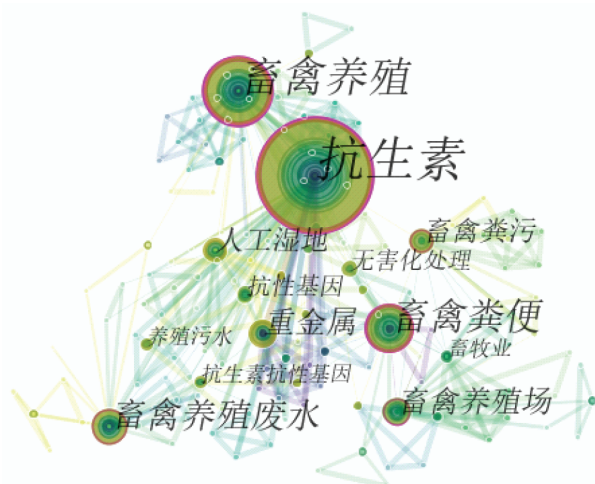


图6 CNKI数据文献关键词共现图谱

Figure 6 Network of keywords coexistence based on CNKI data

肥和粪便是畜禽养殖业新污染物的主要来源,新污染物的环境影响如土壤的污染、抗生素抗性基因的产生等以及新污染物在环境中的行为归趋是研究热点,如多位学者对磺胺嘧啶和磺胺甲恶唑在农田土壤系统中的吸附、解吸和降解行为等进行了系列研究^[15-17]。

此外,抗生素作为畜禽养殖废弃物典型的新污染物,受到的关注度高,其中四环素类、磺胺类抗生素是检出率和检出浓度较高的两种代表性污染物。以我国研究为例,ZHAO等^[18]对我国8个省大型畜禽养殖场的143份动物粪便样品中抗生素的含量进行了测定,发现金霉素和恩诺沙星在所有种类动物粪便样品中均有很高的检出率。WEI等^[19]调查了我国江苏省大型畜禽养殖场周围养殖废水和地表水中兽药抗生素残留,发现检出最多的抗生素为磺胺甲嘧啶、土霉素、四环素、磺胺嘧啶和磺胺甲恶唑。LUO等^[20]在海河流域开展的监测结果显示,磺胺类药物的检出浓度最高(24~385 ng·L⁻¹)、频率最高(76%~100%),指出应规范四环素、磺胺类、喹诺酮类和大环内酯类等兽用抗生素的使用,并强化对污染排放的处置和管制。

通过对研究前沿热点的识别和追踪,可以掌握领域内研究主题、研究方法、研究视角等的演化动态,进而预测研究领域的发展方向。对于研究领域趋势分析,CiteSpace提供了对突变词(Burst words)的探测技术,即通过探测在某一时间段内被引频次或共现频次突现度增加的节点来预测领域内的研究方向^[9]。本研究在分析上述关键词的同时,通过对WOS数据进行关键词突现分析来展现研究领域的发展趋势和热点特征,筛选得到频次突现强度最高的25个关键词

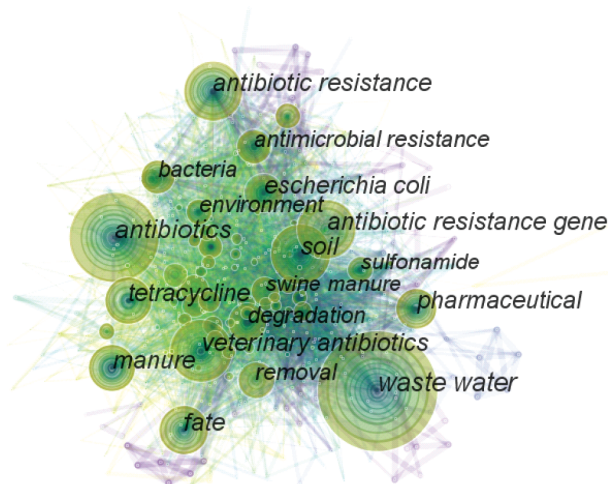


图7 WOS数据文献关键词共现图谱

Figure 7 Network of key words coexistence based on WOS data

(图8)。

从畜禽养殖废弃物新污染物研究文献的突变关键词来看,该领域研究涉及面广泛,不同时期出现了不同的突变关键词。从时间上看,该领域研究分为以下3个阶段:

(1)2003年开始出现突变关键词,包括“雌二醇 17 beta estradiol”“睾酮 testosterone”“污水处理厂 sewage treatment plant”和“液相色谱法 liquid chromatography”等。该阶段突变词共6个,平均时间跨度9 a,平均突现性7.6。从关键词的持续时间和突变强度来看,畜禽养殖新污染物相关的研究从2003年起已成为国际研究热点;从关键词反映的内容来看,激素类物质是畜禽养殖中关注度较高的新污染物,液相色谱法是常用的分析检测方法;此外,养殖废水中新污染物的检测也是此阶段关注的研究方向之一,如MIAO等^[21]采用液相色谱-电喷雾电离串联质谱法调查了加拿大8个污水处理厂的最终出水中31种抗菌剂的检出情况,包括用于畜禽养殖的抗菌剂如卡巴多、喹啉和金霉素,评估得出污水处理厂最终出水中检测到的抗菌素浓度生态风险较低^[21]。

(2)2005—2010年突现词数量增加,表明该领域研究热度进一步提升,成为研究热点。该阶段突变词数量为13,平均时间跨度6 a,平均突现性7.52。其中“固相萃取 solid phase extraction”“泰乐菌素 tylosin”“串联质谱 tandem mass spectrometry”“雌激素 estrogen”“类固醇激素 steroid hormone”是突现性较高的关键词,表明此阶段在畜禽养殖新污染物的种类和分析检测方法方面继续进行了拓展性研究,激素类物质仍是研究热点,而抗生素类污染物如泰乐菌素和大环

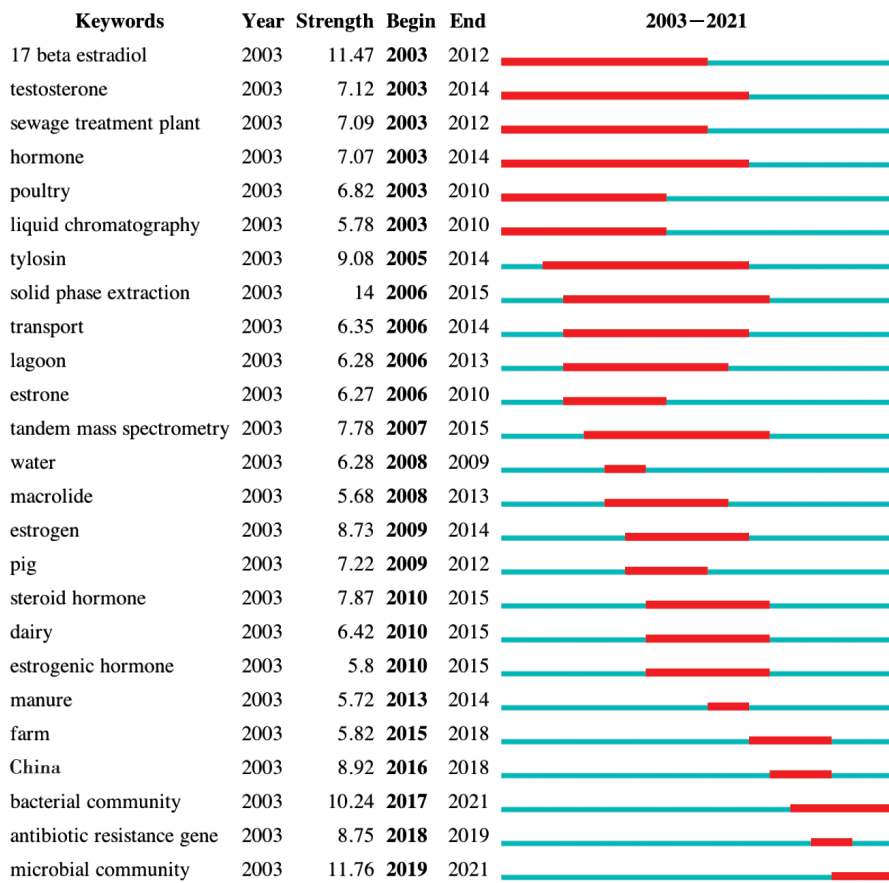


图8 突现强度最高的25个关键词

Figure 8 Top 25 keywords with the strongest citation bursts

内酯类也表现出较强的突变性;固相萃取的前处理方法和色谱串联质谱的检测方法也在研究中频现。如WATANABE等^[22]对奶牛场的粪污、土壤和地下水开展了4次季节性抽样,采用在线固相萃取/加速溶剂萃取-电喷雾电离液相色谱-串联质谱方法对兽用抗生素进行了检测,发现磺胺类、四环素类和林可霉素是检出最多的几种抗生素。CHEN等^[23]采用固相萃取-高效液相色谱/串联质谱技术,对我国台湾南部一处规模化集中养殖场接纳水体中的雌二醇、雌酮、雌三醇、己烯雌酚等进行分析,发现雌酮的平均质量分数最高,且雌二醇平均浓度高于其最低可观察效应浓度,因此建议对养殖场废水进行进一步处理后排放。

(3)2013年以来,尽管突变词数量和持续时间减少,但突变强度增大,其中“细菌群落 bacterial community”和“微生物群落 microbial community”突变强度最大,说明对畜禽养殖新污染物从检测分析研究延伸到潜在生态环境与健康风险研究,尤其是近年来抗生素抗性基因(ARGs)对环境中的细菌和微生物群落多样性、结构及其活性的影响逐渐受到关注。多项研究从

多个角度评估了施用有机肥对土壤中抗生素耐药性的影响,结果表明施用含抗生素的有机肥对土壤细菌群落中抗生素耐药性的传播具有促进作用^[24-27]。如CHEN等^[27]通过长期现场试验,研究了粪肥施用土壤细菌群落和 ARGs 的变化规律,发现长期施用鸡粪显著增加了土壤中 ARGs 的丰度和多样性,加速了 ARGs 在土壤中的传播和扩散,细菌群落的变化是形成抗生素耐药性的主要驱动因素。此外,“中国 China”“粪肥 manure”和“农场 farm”等突变词的出现,说明近年来我国畜禽养殖新污染物的相关研究热度上升,且畜禽粪便堆肥作为抗生素耐药性在环境中传播的重要途径同样是近年来的研究热点和前沿。

2.5 研究知识主题演化分析

共被引分析(Co-citation analysis)是指2篇文献共同出现在了第3篇施引文献的参考文献目录中,则这2篇文献形成共被引关系,对1个文献空间数据集进行文献共被引关系的挖掘过程,就是文献的共被引分析^[9]。通过文献共被引网络的聚类分析,可以获得该研究领域的知识基础,揭示每个阶段知识主题的变化,

对于理解该领域核心研究内容具有重要启示。

在 CiteSpace 中设置时间跨度为 2003—2021 年, 单个时间分区长度为 1 a, 节点类型选择 reference, 运行软件后进行聚类分析, 最后得到 989 个节点、4 480 条连线的文献共被引网络图谱, 采用对数似然率算法 (LLR) 提取施引文献的名词性术语进行命名。通过文献共被引的聚类分析得到 79 个聚类, 模块值 $Q=0.702\ 7$, 平均轮廓值 $S=0.864\ 7$, 表明聚类结果是显著且可靠的。筛选出引文数量 >15 的 10 个聚类群组, 并汇总这些群组所包含的共被引文献数量和平均引用年份, 如表 3 所示。

为进一步阐释研究主题随时间的演进, 本研究绘制了共被引网络的时间线图 (图 9), 以阐明各研究主题 (群组) 的发展时段及重要文献的时间节点。通过对这些聚类标签的进一步分析, 将其归类为 3 个方面的研究内容: (1) 围绕畜禽养殖新污染物环境影响的研究, 包含“抗生素抗性基因 antibiotic resistance genes”“细菌群落 bacterial community”“有机固体废物 organic solid waste”和“沉积物 sediment”4 个显著聚类, 共包括 323 篇被引文献, 主要侧重于对新污染物在环境中的分布赋存和对生态系统的影响进行研究; (2) 畜禽养殖新污染物相关研究 (如环境影响、分析检测、去除净化) 涉及的技术, 反映在图谱中的“定量聚合酶链反应 QPCR”“衍生化 derivatization”“人工湿地 constructed wetlands”等聚类, 共包括 269 篇被引文献节点; (3) 畜禽养殖业典型的新污染物研究, 反映在图谱中的“雌酮 estrone”和“大环内酯类 macrolide”2 个聚类, 共包括 174 篇被引文献节点。

从时间上看, 总体演变可以分为起步阶段、初期发展阶段及快速发展阶段 3 个阶段。在起步阶段

(2004 年以前), 研究主题集中于集约化养殖、污染物前处理方法等方面, 侧重于对导致畜禽养殖污染的养殖模式和相关污染物常规分析检测方法进行探索。此后, 研究进入初期发展阶段 (2004—2012 年), 研究主题分布于抗生素抗性基因、雌酮、大环内酯类等方面, 表明此阶段侧重点关注畜禽养殖抗生素、激素类典型污染物, 且主题“抗生素抗性基因”关注度在 2006—2011 年持续较高。2012 年以后研究进入多样化和快速发展阶段, 研究主题涵盖细菌群落、定量聚合酶链反应、人工湿地、有机固体废物、沉积物等, 体现出应对上阶段的典型污染物所衍生的涵盖技术和生态领域的研究主题。其中主题“定量聚合酶链反应”有多篇重要成果发表, 尤其是 ZHU 等^[28]在 2013 年发表的中国养猪场抗生素抗性基因丰度和多样性的研究引用量达 119 次。同时近年来“细菌群落”主题开始受到重点关注, UDIKOVIC-KOLIC 等^[29]和 FORSBERG 等^[30]在此主题有较重要成果发表。在时间跨度上, “雌酮”相关研究主题持续时间长达 16 a (1999—2014 年), 共 103 篇引文, 可见对畜禽养殖中该典型污染物有广泛和长期的研究。

3 结论与展望

本研究应用文献计量学方法, 借助 CiteSpace 软件的合作网络分析、期刊双图叠加分析、关键词突变分析、文献共被引分析、主题聚类等功能, 对检索得到的畜禽养殖废弃物新污染物研究相关文献从论文发表趋势、分布、研究力量、研究热点、主题及演化趋势等方面进行了深入分析, 研究结果展现出近年来畜禽养殖废弃物新污染物研究领域的高关注度和良好发展态势, 并得出如下结论:

表 3 群组所含共被引文献数量和引用年份
Table 3 Co-citation paper amount and year of clusters

群组编号 Cluster ID	研究方向 Research field	共被引文献数量 Co-citation paper amount	起始年 Begin year	终止年 End year	历时 Duration/a	平均引用年份 Mean year
#0	Bacterial community	164	2011	2020	10	2016
#1	QPCR	153	2008	2017	10	2012
#2	Antibiotic resistance genes	123	2003	2014	12	2007
#3	Estrone	103	1999	2014	16	2006
#4	CAFO	84	1999	2007	9	2002
#5	Constructed wetlands	81	2012	2020	9	2016
#6	Macrolide	71	2004	2011	8	2006
#7	Derivatization	35	1998	2004	7	2000
#8	Organic solid waste	20	2017	2020	4	2008
#9	Sediment	16	2011	2017	7	2013

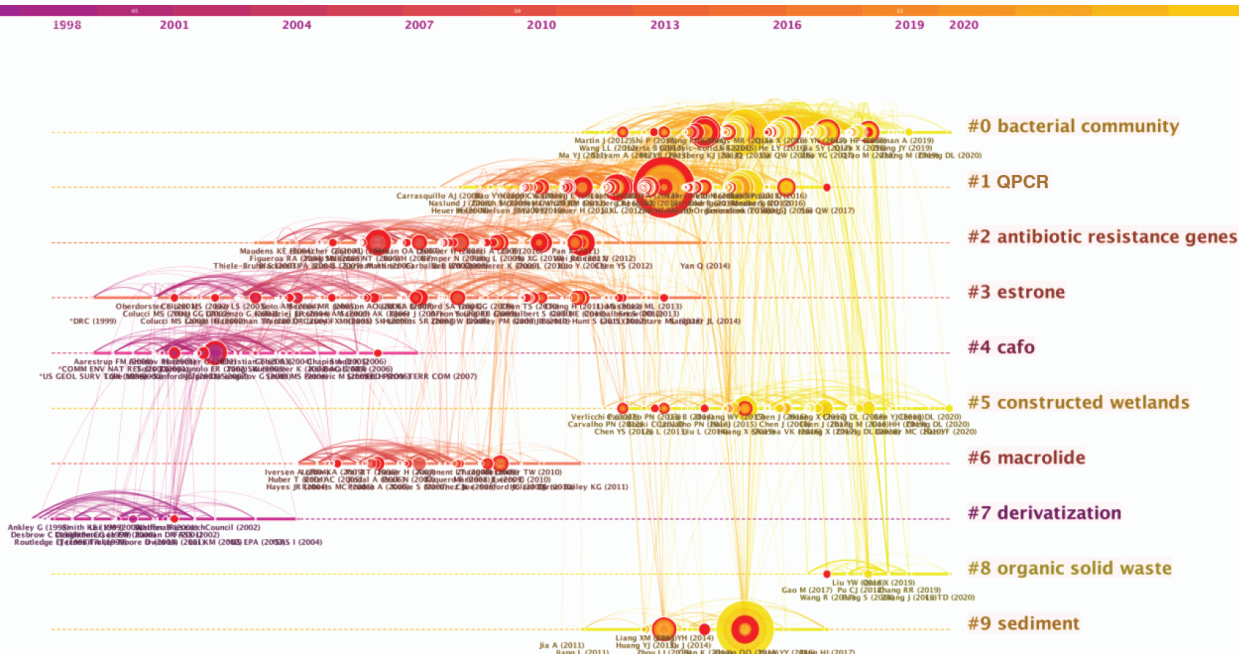


图9 文献共被引网络10个主要聚类群组的时间线图

Figure 9 Timeline visualization of 10 principal clusters of article co-citation network

(1)随着畜禽养殖业的快速发展和对抗生素、激素等新污染物环境健康风险的高关注,近年来该领域内研究呈现出发文量高速增长的趋势,学术影响力逐渐增强,且涉及多学科交叉融合,具有较大的发展潜力,刊载期刊也偏向多元化和多学科交融。

(2)在研究力量方面,我国和美国研究机构在该领域成果产出和影响力在国际上均表现突出,但该研究领域普遍关注区域性污染问题,各机构科学研究合作较少,仍需进一步提高国际合作能力。

(3)该领域研究热点和主题趋向应用性和多学科性,研究热点集中在抗生素、激素类新污染物,以及畜禽养殖新污染物的来源、环境行为归趋和分析检测技术等方面,且近年来对畜禽养殖新污染物从检测分析研究延伸到潜在生态与健康风险研究,研究主题也从污染分析领域向生态领域演化。

当前,环境内分泌干扰物(EDCs)、持久性有机污染物(POPs)、抗生素等新污染物因其潜在的负面生态或健康效应而受到广泛关注;在养殖废水、畜禽粪便等废弃物中抗生素和激素类等新污染物频繁检出,由此导致农业面源污染和抗生素抗性基因等问题。通过该领域文献计量分析,后续研究建议重点关注新污染物的环境行为研究、环境浓度检测和生态环境与健康风险评估等重点和热点问题。在畜禽养殖新污染物的防控对策上,一方面建议强化对养殖业投入品使用和养殖废弃物处置及排放的监管,如通过政策手

段加强对养殖投入品尤其是抗生素的管理,从技术角度加强对畜禽粪污还田利用排放的全过程监管;另一方面建议对新污染物减排和控制关键技术及工程应用的研究加大投入,如对畜禽养殖废水中新污染物去除技术的研发和应用效果评估、对粪肥还田前预处理技术进行研究以减少抗生素抗性基因对土壤细菌群落的影响等,从源头到末端加强畜禽养殖废弃物新污染物的环境风险管控。

参考文献:

- [1]王振旗,钱晓雍,沈根祥,等. 奶牛场废水抗生素类新型污染物减排示范工程研究成果[J]. 净水技术, 2020, 39(11): 63-66, 146. WANG Z Q, QIAN X Y, SHEN G X, et al. Research findings of demonstration project of emerging pollutants reduction for antibiotics in dairy wastewater[J]. *Water Purification Technology*, 2020, 39(11): 63-66, 146.
- [2]代莎,李彭,彭五庆,等. 抗生素对耐药型反硝化菌反硝化过程及微生物群落结构的影响[J]. 环境科学, 2020, 41(3): 1401-1408. DAI S, LI P, PENG W Q, et al. Influence of antibiotics on the denitrification process of antibiotic resistant denitrifying bacteria and the analysis of microbial community structure[J]. *Environmental Science*, 2020, 41(3): 1401-1408.
- [3]凌文翠,范玉梅,方瑶瑶,等. 京津冀地区畜禽养殖业抗生素污染现状分析[J]. 环境工程技术学报, 2018, 8(4): 390-397. LING W C, FAN Y M, FANG Y Y, et al. Antibiotics pollution of livestock and poultry breeding in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2018, 8(4): 390-397.

- [4] ZHANG F S, LI Y X, YANG M, et al. Copper residue in animal manures and the potential pollution risk in northeast China[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2011, 2(1):91–96.
- [5] 刘姝芳, 李艳霞, 张雪莲, 等. 东北三省畜禽养殖类固醇激素排放及其潜在污染风险[J]. *环境科学*, 2013, 34(8):3180–3187. LIU S F, LI Y X, ZHANG X L, et al. Excretion of manure-borne steroid hormones and their potential risk in the three northeast provinces of China [J]. *Environmental Science*, 2013, 34(8):3180–3187.
- [6] 胡双庆, 袁哲军, 沈根祥. 典型畜禽粪污中雌激素排放特征[J]. *环境科学研究*, 2020, 33(1):227–234. HU S Q, YUAN Z J, SHEN G X. Characteristics of estrogens in typical livestock and poultry waste[J]. *Research of Environmental Science*, 2020, 33(1):227–234.
- [7] 袁哲军, 张洪昌, 胡双庆, 等. 典型雌激素在水稻土中的吸附特征及高岭土和猪粪DOM对吸附的影响[J]. *环境化学*, 2018, 37(4):652–660. YUAN Z J, ZHANG H C, HU S Q, et al. Adsorption of typical estrogens to paddy soils and influence of kaolin and pig manure DOM [J]. *Environmental Chemistry*, 2018, 37(4):652–660.
- [8] 王真, 张洪昌, 沈根祥, 等. 结合态雌激素在堆肥过程中的降解与转化研究[J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38(12):2860–2870. WANG Z, ZHANG H C, SHEN G X, et al. Degradation and transformation of conjugated estrogens during composting[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(12):2860–2870.
- [9] 李杰, 陈超美. CiteSpace:科技文本挖掘及可视化[M]. 二版. 北京:首都经济贸易大学出版社, 2017. LI J, CHEN C M. CiteSpace:Text mining and visualization in scientific literature[M]. 2nd Edition. Beijing:Capital University of Economics and Business Press, 2017.
- [10] WU J, JIA D, WEI Z, et al. Development trends and frontiers of ocean big data research based on CiteSpace[J]. *Water*, 2020, 12(6):1560.
- [11] CHEN H, YANG Y, YANG Y, et al. A bibliometric investigation of life cycle assessment research in the web of science databases[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2014, 19(10):1674–1685.
- [12] 代锋刚, 蔡焕杰. 基于CiteSpace的农业节水研究进展与发展趋势[J]. *水资源与水工程学报*, 2015, 26(1):212–218. DAI F G, CAI H J. Research progress and development trend of water saving agriculture based on CiteSpace[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2015, 26(1):212–218.
- [13] 薛艳霞, 梁秋实, 王朋. 基于CiteSpace的近30年全球变化生态学研究现状与展望[J]. *环境保护前沿*, 2021, 11(2):281–287. XUE Y X, LIANG Q S, WANG P. The research status and prospect of global change ecology in the past 30 years based on CiteSpace[J]. *Advances in Environmental Protection*, 2021, 11(2):281–287.
- [14] CHEN C, LEYDESDORFF L. Patterns of connections and movements in dual-map overlays: A new method of publication portfolio analysis [J]. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 2014, 65(2):334–351.
- [15] SHEN G X, ZHANG Y, HU S Q, et al. Adsorption and degradation of sulfadiazine and sulfamethoxazole in an agricultural soil system under an anaerobic condition: Kinetics and environmental risks[J]. *Chemosphere*, 2017:266–274.
- [16] HU S Q, ZHANG Y, SHEN G X, et al. Adsorption/desorption behavior and mechanisms of sulfadiazine and sulfamethoxazole in agricultural soil systems[J]. *Soil and Tillage Research*, 2019, 186:233–241.
- [17] ZHANG Y, HU S Q, ZHANG H C, et al. Degradation kinetics and mechanism of sulfadiazine and sulfamethoxazole in an agricultural soil system with manure application[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 607:1348–1356.
- [18] ZHAO L, DONG Y H, WANG H. Residues of veterinary antibiotics in manures from feedlot livestock in eight provinces of China[J]. *Science of the Total Environment*, 2010, 408(5):1069–1075.
- [19] WEI R, GE F, HUANG S, et al. Occurrence of veterinary antibiotics in animal wastewater and surface water around farms in Jiangsu Province, China[J]. *Chemosphere*, 2011, 82(10):1408–1414.
- [20] LUO Y, XU L, RYSZ M, et al. Occurrence and transport of tetracycline, sulfonamide, quinolone, and macrolide antibiotics in the Haihe River Basin, China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(5):1827–1833.
- [21] MIAO X S, BISHAY F, CHEN M, et al. Occurrence of antimicrobials in the final effluents of wastewater treatment plants in Canada[J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38(13):3533–3541.
- [22] WATANABE N, BERGAMASCHI B A, LOFTIN K A, et al. Use and environmental occurrence of antibiotics in freestall dairy farms with manured forage fields[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 44(17):6591–6600.
- [23] CHEN T S, CHEN T C, YEH K J C, et al. High estrogen concentrations in receiving river discharge from a concentrated livestock feedlot [J]. *Science of the Total Environment*, 2010, 408(16):3223–3230.
- [24] JECHALKE S, KOPMANN C, ROSENDAHL I, et al. Increased abundance and transferability of resistance genes after field application of manure from sulfadiazine-treated pigs[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2013, 79(5):1704–1711.
- [25] TANG X, LOU C, WANG S, et al. Effects of long-term manure applications on the occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes (ARGs) in paddy soils: Evidence from four field experiments in south of China[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 90:179–187.
- [26] KYSELKOVÁ M, KOTRBOVÁ L, BHUMIBHAMON G, et al. Tetracycline resistance genes persist in soil amended with cattle feces independently from chlortetracycline selection pressure[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 81:259–265.
- [27] CHEN Q, AN X, LI H, et al. Long-term field application of sewage sludge increases the abundance of antibiotic resistance genes in soil [J]. *Environment International*, 2016, 92:1–10.
- [28] ZHU Y G, JOHNSON T A, SU J Q, et al. Diverse and abundant antibiotic resistance genes in Chinese swine farms[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(9):3435–3440.
- [29] UDIKOVIC-KOLIC N, WICHMANN F, BRODERICK N A, et al. Bloom of resident antibiotic-resistant bacteria in soil following manure fertilization[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014, 111(42):15202–15207.
- [30] FORSBERG K J, PATEL S, GIBSON M K, et al. Bacterial phylogeny structures soil resistomes across habitats[J]. *Nature*, 2014, 509(7502):612–616.