



高思源,陈丝雨,王凡,夏兆飞. 基于Web of Science数据库的犬猫肠道菌群研究热点的可视化分析[J]. 中国农业大学学报,2024,29(05):81-91.
GAO Siyuan, CHEN Siyu, WANG Fan, XIA Zhaofei. Visualization analysis of research hotspot on canine and feline gut microbiota based on the Web of Science database[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(05): 81-91.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.05.08

基于Web of Science数据库的犬猫肠道菌群研究热点的 可视化分析

高思源 陈丝雨 王凡 夏兆飞*
(中国农业大学 动物医学院, 北京 100193)

摘要 为全面、客观分析犬猫肠道菌群研究的发展脉络和热点方向,本研究采用文献计量学方法,检索Web of Science核心数据库近20年关于犬猫肠道菌群的文章,应用软件Citespace、VOSviewer和Microsoft Excel对发文量、发文时间、发文国家和机构、发文作者、发文期刊、文献共被引频次和关键词进行分析。结果表明:1)在犬猫肠道菌群领域,近20年Web of Science共发表相关文献413篇,且发文量呈逐年上升趋势。2)美国得克萨斯A&M大学是发文最多的机构,形成了以学者Suchodolski和Swanson为核心的学术共同体;PLOS ONE是发文量最多的期刊。3)研究方向可分为4方面,分别是营养素对犬猫肠道菌群的影响、益生菌对犬猫肠道菌群的影响、疾病和犬猫肠道菌群紊乱的相关性以及肥胖和犬猫肠道菌群的相关性。犬猫食物补充剂如何通过调控肠道菌群进而提高健康水平是未来研究的关注重点。综上,近年来犬猫肠道菌群相关研究正逐步受到研究者的关注,本研究为改善犬猫的健康水平和生活质量提供重要的参考依据。

关键词 犬;猫;肠道菌群;文献计量学;研究热点

中图分类号 S82

文章编号 1007-4333(2024)05-0081-11

文献标志码 A

Visualization analysis of research hotspot on canine and feline gut microbiota based on the Web of Science database

GAO Siyuan, CHEN Siyu, WANG Fan, XIA Zhaofei*

(College of Veterinary Medicine, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract To comprehensively and objectively analyze the development and hotspot of research on canine and feline gut microbiota, this study used bibliometric methods to search for articles on canine and feline gut microbiota in the Web of Science core database over the past 20 years. The software Citespace, VOSviewer and Microsoft Excel were used to analyze the number of articles, publication time, publishing countries and institutions, authors, journals, literature co-citation frequency, and keywords. The results showed that: 1) A total of 413 papers on canine and feline gut microbiota were published in the past 20 years, and the number of publications showed an increasing trend year by year. 2) Texas A&M University in the United States is the institution with the most publications, forming the academic community with Suchodolski and Swanson as the core members. PLOS ONE was the journal with the highest number of publications. 3) The research hotspot can be divided into four main aspects: the impact of food components on canine and feline gut microbiota, the impact of probiotics on canine and feline gut microbiota, the correlation between diseases and disturbances in canine and feline gut microbiota, and the

收稿日期: 2023-10-06

第一作者: 高思源(ORCID: 0009-0005-5158-8048), 硕士研究生, E-mail: gaosiyuan@cau.edu.cn

通讯作者: 夏兆飞(ORCID: 0000-0002-7567-1007), 教授, 主要研究方向为小动物临床诊疗技术、小动物临床营养, E-mail: dxia@126.com

correlation between obesity and canine and feline gut microbiota. How food supplements can improve canine and feline health by regulating gut microbiota is a focus of future research. In conclusion, research on canine and feline gut microbiota has gradually garnered attention in recent years, providing important scientific references for improving the health status and quality of life.

Keywords canine; feline; gut microbiota; bibliometrics; research hotspot

近年来,随着经济水平提高,人口结构发生变化,犬猫被很多人视为家庭成员之一,人们为之投入了前所未有的关爱,它们的健康问题也受到了极大关注。犬猫的机体健康和肠道菌群密切相关^[1],肠道菌群由消化道中的数万亿个微生物组成,是机体重要的组成部分之一,肠道菌群具有多种功能:帮助机体进行消化和营养吸收、保护宿主免受病原微生物入侵、维护肠道免疫系统功能和维持肠道动态平衡等。在机体健康状态下,肠道菌群与宿主相互共生,肠道菌群可通过多种途径对宿主代谢进行调控,影响宿主的营养吸收和代谢功能,同时宿主也可以为肠道菌群提供稳定的膳食生态环境^[2]。当机体受到一些因素的干扰如感染、炎症时,会导致肠道菌群紊乱。同样,肠道菌群紊乱也可导致或加剧某些疾病的发生^[3],如炎性肠病、过敏、肿瘤^[4]等。因而,许多研究正尝试通过调控肠道菌群构成来改善犬猫健康,如进行粪菌移植、使用微生态制剂等^[5]。

近年来,关于犬猫肠道菌群的研究综述主要围绕犬猫微生物组分析方法^[6],肠道菌群组成与健康的关系^[7-9]和饮食对于肠道菌群的影响^[10]等方面对领域内的一些研究方向进行了系统总结,但已有的犬猫肠道菌群研究综述缺乏对该领域的客观分析以及研究热点和方向的可视分析。文献计量学是运用数学和统计方法,对特定领域文献的研究方向和研究趋势进行评估的重要工具^[11],对于梳理研究领域的脉络具有极高价值,可为该领域的研究学者提供科研方向和思路。因此本研究运用文献计量学方法,主要通过 VOSviewer 与 CiteSpace 软件,对犬猫肠道菌群领域的文献进行深入分析,展示犬猫肠道菌群领域的研究发展脉络、当前研究方向及未来研究的关注重点,为本领域提供客观、真实的数据来源,以期为本领域研究提供新的研究视角和思考。

1 材料与方法

1.1 数据来源和检索方式

本研究所有文献数据均来源于全球信息数据

库 Web of Science (WOS) 的核心数据库,选择 Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED),使用高级检索,检索条件设置为 TS=(canine OR dog OR feline OR cat OR pet OR companion animal) AND TS=(“gastrointestinal microbiome*” or “gut microbiome*” or “gut microflora” or “gut microbiota*” or “gastrointestinal flora” or “gut flora” or “gastrointestinal microbiota*” or “gastrointestinal microbial communit*” or “gastrointestinal microflora” or “gastric microbiome*” or “intestinal microbiome*” or “intestinal microbiota*” or “intestinal flora”),期刊时间跨度设置为 2003 年 5 月 16 日—2023 年 5 月 16 日,共检索出文献 1 274 篇,通过阅读摘要等形式,排除与主题不相关文献后,得到来自 134 个国家/地区、136 本期刊的文献共 413 篇,以文本形式将文献相关信息导出,使用软件 CiteSpace 剔除重复文献,得到可用文献共 413 篇。

1.2 研究工具和数据处理

本研究所使用的主要工具是软件 VOSviewer 1.6.19 和 CiteSpace 6.2.R2,两者均是基于 JAVA 环境下用于可视化分析文献计量数据的软件工具。CiteSpace 6.2.R2 注重以图形及连接表示关系强弱,VOSviewer 1.6.19 则主要以距离解构相互关系。

使用 Microsoft Excel 工作表绘制年发文量图谱并统计发文期刊情况;使用 VOSviewer 1.6.19 绘制作者和机构合作图谱以及关键词聚类图谱;使用 CiteSpace 6.2.R2 进行文献共被引频次分析以及绘制突现词图谱。

2 结果与分析

2.1 发文趋势分析

如图 1 所示,根据犬猫肠道菌群相关研究的发表时间统计,犬猫肠道菌群领域发展可分为 3 个阶段:起步阶段(2003—2015 年):该时期发表文章数量较少,年发文量最高的是 2013 年和 2014 年,仅 11 篇;初步发展阶段(2016—2019 年):发文量从 2016 年的

13篇增长到2019年的37篇;迅速发展阶段(2019年至今):该时期发文量呈明显上升趋势,最高峰值是2022年的74篇。近年来发文量的迅速上升,推测与肠道菌群检测技术如二代测序技术的不断优化和

数据分析平台的发展密切相关^[12],无需培养和分离鉴定即可得到菌群信息,研究人员能够更好地分析肠道菌群的组成和结构,从而加快了犬猫肠道菌群领域的研究进展。

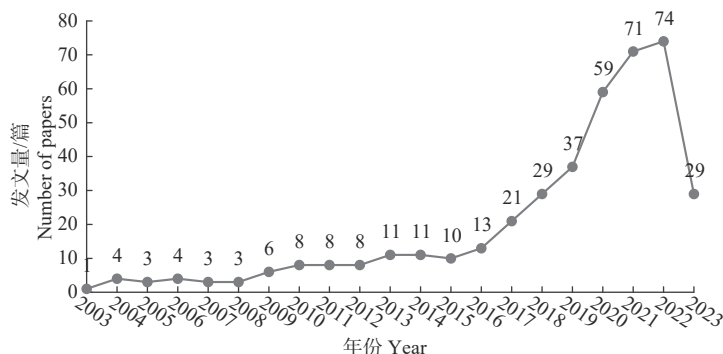


图1 2003—2023年犬猫肠道菌群相关论文年产量分布图

Fig.1 The number of published studies on canine and feline gut microbiota from 2003 to 2023

2.2 发文国家、机构和作者分析

关于犬猫肠道菌群研究国家的统计中,美国以180篇的发文量领先,意大利以56篇的发文量排名第2,而中国位列第3名,发文量为53篇。

当前进行犬猫肠道菌群研究的机构主要有得克萨斯A&M大学(66篇)、伊利诺伊大学(40篇)、希尔斯宠

物营养公司(16篇),发文量最多的国内机构是中国农业科学院(9篇)。如图2所示,得克萨斯A&M大学和伊利诺伊大学是主要研究机构间合作关系的核心,且基于该核心形成了一定的网状结构,说明多机构的合作较为密切。但在国内,发文量较多的2个机构,中国农业科学院和华南农业大学尚未建立密切合作关系。



图中一个节点代表一个机构,节点的大小与机构发文量呈正相关,节点连线代表机构间的合作。

A node represents an institution, the size of the node is positively correlated with the number of documents issued by the institution, and the connection of the node represents the cooperation between the institutions.

图2 犬猫肠道菌群相关研究机构合作图谱

Fig. 2 The collaboration map of institutions in research on canine and feline gut microbiota

2003—2023年犬猫肠道菌群相关研究发文量 前3的作者分别为Suchodolski, Swanson和 Steiner,分别发

文54篇、25篇和21篇,Suchodolski和 Steiner 共同就职于得克萨斯A&M大学,其中Suchodolski是皇家宠

物食品的专家团成员之一;Swanson 是卡夫亨氏公司的特聘教授。根据普赖斯公式^[13] $N=0.749(\eta_{\max})^{0.5}$,得出本研究核心作者为发文6篇及以上的作者,而发文6篇及以上作者仅17人,远不及作者总数的50%,说明该领

域暂未形成核心队伍。但从图3中可明显看出,高产作者 Suchodolski 和 Swanson 已形成学术共同体。发文量最多的中国学者是华南农业大学学者邓百川,共计8篇,排名第13位。



图中一个节点代表一个作者,节点颜色越深,代表发文时间越久,节点连线代表作者间的合作。

A node represents an author, the darker the node color, the longer the publication time, and the node connection represents the cooperation between authors.

图3 犬猫肠道菌群相关研究作者合作图谱

Fig. 3 The collaboration map of authors in research on canine and feline gut microbiota

2.3 发文期刊分析

期刊分析是一种定量分析文献的方法,可分析核心数据集上论文的来源分布情况,便于研究者快速查找文献。表1列出了自2003—2023年刊载犬猫肠道菌群相关研究数量排名前5的期刊。由表1可知,*PLOS ONE*是发文量最多的期刊,共计38篇,该期刊投稿相对容易,但分区较低。除*PLOS ONE*外,其他期刊分区相对靠前,但影响因子较低,说明犬猫肠道菌群研究领域可能存在一种趋势,即发表论文数量较多的期刊可能在影响力方面相对较弱,而影响力较高的期刊论文数量可能相对较少。

2.4 文献共被引频次分析

共被引文献的数量反映了一篇论文在某领域的影响力和重要性,可用来确定某一领域内的科学研究趋势和热点,有助于拓宽研究视野和提高研究质量。犬猫肠道菌群相关研究共被引量前5的文

如表2所示,高被引文献主题不一。引用频次最多的文献是一篇综述,该文献对肠道菌群和其代谢产物在健康犬和胃肠道疾病犬中的作用进行了探讨,胃肠道功能障碍患犬通常表现为肠道菌群紊乱,且该综述表明,肠道菌群紊乱的恢复与疾病的恢复并不一定具有相关性,需要进一步研究^[14]。引用量第2的文献是对工具的介绍,主要介绍了一种基于开源框架的微生物组数据科学工具QIIME 2,该工具能够对微生物组数据进行标准化和自动化分析与处理,并提高了微生物组数据处理的可重复性、交互性和可扩展性,有助于研究者更好地分析和解释微生物组数据,提高微生物组数据的科学价值并推动微生物组领域的研究进展^[15]。引用量第3的文献主要研究了犬和人类肠道菌群在基因组成和对饮食反应方面的相似性,表明犬或可用作人类肠道菌群研究的模型^[16]。引用量第4的文献描述了一种评

表 1 刊载犬猫肠道菌群研究文献数量排名前 5 位的期刊

Table 1 Top 5 journals that have published the most studies on canine and feline gut microbiota

排名 Rank	期刊 Journal	发文量/篇 Number of papers	JCR 分区 JCR partition	影响因子 Impact factor
1	<i>PLOS ONE</i>	38	Q2	3.752
2	<i>Journal of Animal Science</i>	30	Q1	3.338
3	<i>Animals</i>	28	Q1	3.231
4	<i>Frontiers in Veterinary Science</i>	20	Q1	3.471
5	<i>Frontiers in Microbiology</i>	17	Q1	6.064

表 2 犬猫肠道菌群研究共被引频次前五的文献

Table 2 Top 5 literatures co-citation frequency for canine and feline gut microbiota

排序 Sequence	年份 Year	题目 Title	被引频次 Cited frequency
1	2020	The role of the canine gut microbiome and metabolome in health and gastrointestinal disease	52
2	2019	Reproducible , interactive , scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2	40
3	2018	Similarity of the dog and human gut microbiomes in gene content and response to diet	39
4	2017	A dysbiosis index to assess microbial changes in fecal samples of dogs with chronic inflammatory enteropathy	35
5	2017	Raw meat based diet influences faecal microbiome and end products of fermentation in healthy dogs	34

估慢性炎症肠病患犬粪便样本菌群变化的方法—菌群紊乱指数,可以更好地评估粪便中菌群变化情况^[17]。引用量第 5 的文献评估了生食对健康犬粪便菌群和发酵产物的影响,研究发现,与吃熟食相比,生食会导致健康犬肠道菌群的变化,增加犬肠道内潜在病原菌的数量,并导致某些代谢产物的升高,但同时也可能提高有益菌的数量^[18]。

通过对以上文献分析可知,胃肠道疾病和饮食对犬猫肠道菌群的影响是研究的 2 个重要方面。除了对犬猫自身的影响外,由于相对其他哺乳动物,犬的肠道菌群与人类的相似性更高,其研究成果或可推广到人类医学研究中,进而增进人类福祉。此外,更科学、有效、便捷的微生物组分析方式推动了肠道菌群领域的发展。

2.5 关键词分析

关键词是对一篇文章研究内容的高度提炼,用于表达文章的主题内容。关键词聚类分析,可以明

晰目前研究方向。如图 4 所示,研究围绕肠道菌群(Gut microbiota)这一关键词展开,根据关键词颜色可分为 4 个聚类,可将其归纳为 4 个主要方向,即营养素对肠道菌群的影响、益生菌对肠道菌群的影响、疾病和肠道菌群紊乱的相关性以及肥胖与肠道菌群的相关性。

2.5.1 营养素对犬猫肠道菌群的影响

如图 4 所示,蓝色簇的关键词包括:短链脂肪酸(Chain fatty acid)、蛋白质(Protein)和纤维(Fiber)等,可归纳研究方向为营养素对犬猫肠道菌群的影响。日粮中营养素的配比会影响犬猫的肠道菌群构成,继而影响肠道菌群代谢产物的生成^[19]。营养素中,蛋白质和纤维含量对菌群的影响较深且相关研究较多。犬猫对蛋白需求较人类而言更高,当犬猫摄入过量膳食蛋白时,未消化的蛋白将进入大肠被菌群分解代谢,从而影响到肠道菌群组成进而影响肠道健康。研究表明,幼猫摄入较高水平的蛋白

质会降低双歧杆菌和乳酸杆菌等有益菌数量^[20],犬长期食用高蛋白食物会造成与犬肾功能障碍、炎症和蛋白水解相关的代谢物增加^[21]。膳食纤维的主要功能包括调节食欲,增加饱腹感以及被肠道菌群发酵产生短链脂肪酸进而为肠道组织提供能量来源等。在犬粮中加入的纤维混合物可显著增加糖酵解肠道细菌的丰度,降低蛋白水解细菌的丰度^[22],单独摄入短链低聚果糖、低聚半乳糖或两者组合摄入均可显著增加家猫粪便中的双歧杆菌含量^[23]。

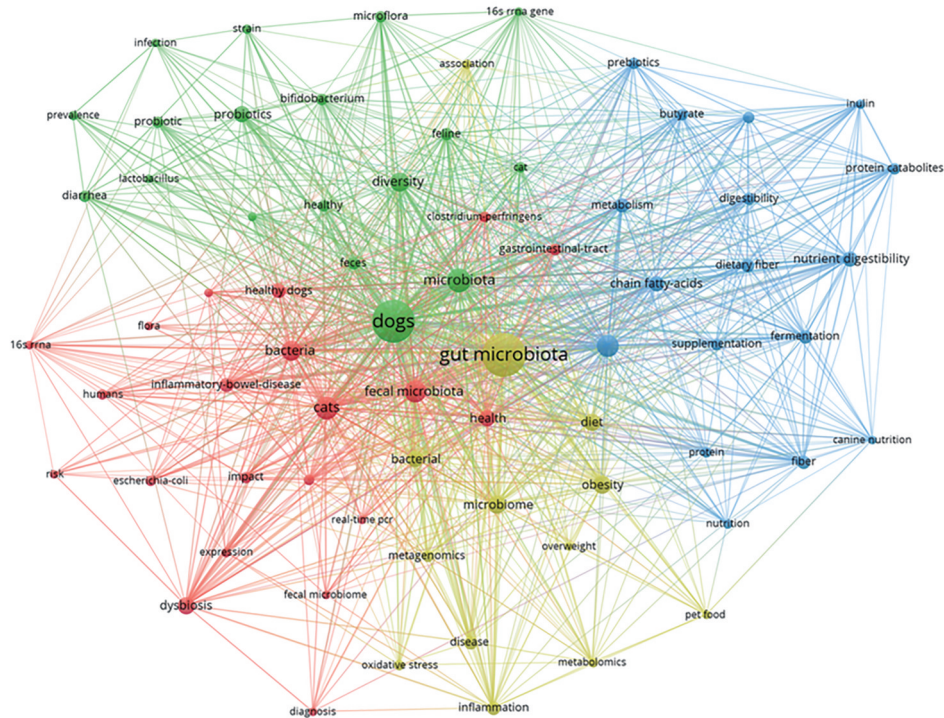
2.5.2 益生菌对犬猫肠道菌群的影响

如图4所示,绿色簇的关键词有:益生菌(Probiotics)、双歧杆菌(*Bifidobacterium*)和乳酸杆菌(*Lactobacillus*),可归纳研究方向为益生菌对犬猫肠道菌群的影响。益生菌是一种对机体有益的微生物,可通过多种机制来改善宿主健康,犬猫领域研究最多的益生菌是双歧杆菌和乳酸杆菌。在肠道菌群中,益生菌可以抑制病原体滋生,帮助稳定肠道菌群,刺激肠道上皮细胞的增殖和分化,使

肠道黏膜层更加健康。另外,益生菌还可影响宿主的免疫系统,它们可以调节免疫细胞的活动,促进宿主免疫系统的健康,并且降低炎症反应的程度^[24]。针对犬猫肠道菌群的研究表明,特定的益生菌菌株和/或组合在改善肠道菌群方面具有积极的作用^[25-27]。在疾病状态下,益生菌也可发挥一定的调节功能,有研究表明使用混合益生菌制剂可以加快菌群紊乱恢复进程,降低产肠毒素型产气荚膜梭菌水平^[28]。

2.5.3 疾病与犬猫肠道菌群紊乱的相关性

如图4所示,红色簇的关键词包括:炎性肠病(Inflammatory bowel disease)、细菌(Bacteria)和菌群紊乱(Dysbiosis)等,可归纳研究方向为疾病和肠道菌群紊乱的相关性。许多疾病会使得肠道菌群紊乱或受到肠道菌群紊乱的影响,其中胃肠道疾病与肠道菌群紊乱尤为相关。犬猫炎性肠病是研究最多的胃肠道疾病,与健康犬相比,炎性肠病患犬粪便菌群 α 多样性显著下降,大肠杆菌志贺氏菌属相对丰度显著增加,而普雷沃菌属等细菌相对丰度



图中一个节点代表一个关键词,节点大小反映关键词出现的次数,连线表示关键词共现的频次,相同的颜色表示相同的簇。
A node represents a keyword, the node size reflects the number of keyword occurrences, the line represents the frequency of keyword co-occurrence, and the same color represents the same cluster.

图4 犬猫肠道菌群关键词共现图谱
Fig. 4 Cooccurrence map of keywords in canine and feline gut microbiota

显著下降^[29],炎症肠病患猫中,脱硫弧菌属细菌数量增加,而双歧杆菌属和拟杆菌属的细菌数量减少^[30]。其他疾病如肠道寄生虫感染、糖尿病和淋巴瘤等也被证明与对应的一种或几种肠道菌群存在强相关性,可改变菌群的多样性和丰度^[31-33]。

2.5.4 肥胖与犬猫肠道菌群的相关性

如图 4 所示,黄色簇的关键词主要有:肥胖 (Obesity) 和饮食 (Diet) 等,可归纳研究方向为肥胖与犬猫肠道菌群的相关性。肠道菌群通过影响能量稳态和炎症等途径调控肥胖^[34],肥胖犬猫与正常犬猫相比,菌群的组成结构有所不同。使用宏基因组测序技术的最新研究表明,与正常猫相比,肥胖猫菌群多样性下降,厚壁菌门丰度和厚壁菌门/拟杆菌门比值显著降低^[35],但在对肥胖犬的最新研究表明肥胖犬的厚壁菌门丰度升高,拟杆菌门丰度降低^[36]。另外,饮食干预(少吃、吃减肥处方粮)能够改变肥胖犬猫菌群的丰度和多样性^[37-38],肠道菌群

在犬猫减重过程中也发挥着一定作用。

2.6 突现词分析

CiteSpace 软件的突发检测 (Burst detection) 功能可用来检测在某一时段内有较大变化的关键词情况,可发现某一关键词衰落或者兴起的进程,可能预示相关领域的研究趋势。表 3 为犬猫肠道菌群相关领域的突现词情况。可根据是否对现在具有持续影响力分为 2 个阶段。2021 年之前,研究主要围绕胃肠道 (Gastrointestinal tract)、炎症肠病 (Inflammatory bowel disease) 等,突现词比较发散,有对菌群组成的研究、对具体菌种产气荚膜梭菌的研究、微生物分子发育特征的研究等,说明前期研究热点主要为犬猫肠道菌群的组成分析和系统发育分析,疾病和健康状态下菌群构成的差异分析。自 2021 年起出现了 3 个突现词,即健康 (Health)、补充剂 (Supplementation) 和宠物食品 (Pet food),其影响持续至今。说明目前的研究热点聚焦于犬猫食

表 3 犬猫肠道菌群相关研究的突现词图谱

Table 3 Keywords with the strongest citation bursts of canine and feline gut microbiota

关键词 Keyword	突现年 Year	突现强度 Strength	起始年 Begin	结束年 End	突发年段图 Sudden year chart
Gastrointestinal tract	2004	6.32	2004	2012	
Clostridium perfringens	2007	3.57	2007	2014	
Inflammatory bowel disease	2006	5.51	2008	2016	
Populations	2010	4.20	2010	2014	
16S ribosomal RNA	2010	4.17	2010	2017	
Beagle dogs	2010	3.47	2010	2017	
Molecular phylogenetic characterization	2011	3.74	2011	2016	
Bacterial microbiota	2012	5.42	2012	2017	
Healthy dogs	2006	4.42	2012	2018	
Bacterial	2013	3.74	2013	2019	
Community	2009	4.30	2017	2019	
Expression	2009	3.29	2020	2021	
Health	2009	3.60	2021	2023	
Supplementation	2012	3.35	2021	2023	
Pet food	2021	3.10	2021	2023	

注:表中红色区段是关键词作为研究前沿的起始年和结束年,蓝色为其余年份。

Note: The red sections in the table are the starting and ending years of the keyword as the research frontier, and the remaining years are in blue.

品补充剂领域。微生态制剂(包括益生菌、益生元、合生元和后生元)是被研究最多的补充剂^[39-40],不过也有一些文章研究添加天然物质如小檗碱、没食子酸、丝兰提取物对犬猫肠道菌群的影响^[41-43]。这些补充剂可通过不同机制调节肠道微生态平衡,维护肠道健康,并可能具有预防和治疗疾病的潜力。

3 讨 论

本研究主要目的是通过文献计量分析评估犬猫肠道菌群研究的热点和趋势。分析显示,过去20年,随着肠道菌群检测技术如聚合酶链反应、荧光原位杂交、16S核糖体RNA基因测序技术和宏基因组技术等飞速发展,犬猫肠道菌群相关研究越来越多。目前犬猫肠道菌群研究内容主要集中在4个方面,分别是营养素对肠道菌群的影响、益生菌对肠道菌群的影响、疾病和肠道菌群紊乱的相关性、肥胖与肠道菌群的相关性。食物为菌群提供发酵的底物,如食物中蛋白含量增多,则代谢蛋白的细菌如梭杆菌就会增多,改变的菌群继而会对肠道功能产生潜在影响。不同来源、不同含量的营养素会对菌群产生不同的影响,通过研究菌群的变化可以指导科学生产日粮;益生菌菌株和组合在维护肠道微生态平衡和改善宿主健康方面具有广泛的应用潜力,但生产和制造方法以及食品载体可能会影响益生菌的原始特性,对菌群也会产生不同的影响^[44],后生元具有与益生菌相似的积极调控菌群的功能且其功能不受生产方式等的影响,未来或可成为益生菌的潜在替代^[45];当犬猫整体状态异常时,菌群也会发生改变。疾病与菌群紊乱息息相关,但尚未证实两者的因果关系,菌群紊乱可能是疾病进程的症状,而不是其发生的原因^[8];肥胖犬猫的肠道菌群结构与正常犬猫相比有显著差异,主要体现在菌群多样性的下降和某些菌的丰度改变,通过寻找差异菌株来进行营养调控或可有益于犬猫减重。

目前犬猫肠道菌群领域内多数研究都比较浅显,仅停留在各种不同因素对肠道菌群多样性、聚类分析、功能等的描述性研究中,并未进行更深层次的机制探究,也没有揭示疾病的因果关系。同时,受研究方法、品种、环境等的影响,相似的研究可能得到不同的结果。虽然存在诸多问题,但上述研究内容可为未来深入研究提供基础性数据,指导科研人员开展新的项目。未来还需深入研究肠道

菌群的具体功能并寻找差异菌株。可通过多组学联合分析,筛选引起代谢变化的优势菌种及与菌群分布密切相关的代谢物,从而分析菌群、代谢物及机体间的内在调控机制。同时,尝试通过出台专家共识指南等方式统一研究标准和方法可更好地对不同试验进行比对和整合。

本研究认为该领域未来研究的关注重点是研究各种食物补充剂如何调控犬猫肠道菌群进而改善犬猫整体健康水平。前期的研究已证实通过添加益生菌等物质可增加肠道有益菌丰度进而改善肠道健康,相关研究为食物补充剂调节肠道菌群相关研究的发展奠定了基础。现代社会中,人们越来越重视犬猫食物的保健功能且宠物食品市场竞争日益激烈,推动了对具有多重功能的犬猫食物补充剂的研发和生产,其对提高企业竞争力和满足消费者需求具有重要意义。人类医学中有一新兴名词——菌群靶向性食物,指为改变消费者肠道菌群特性而设计的食品,对菌群靶向性食物的开发方式主要有以下4种,体外模拟肠道菌群培养;肠道菌群特定生理特性分析;模拟微生物模型,包括基因组尺度代谢模型和深度学习;无菌动物试验^[46]。针对菌群靶向性食物的研究与目前犬猫肠道菌群领域研究趋势相近。犬猫肠道菌群领域可参考人类模菌群靶向性食物研究模式,寻找可以精确调控核心微生物群的食物补充剂,同时还需深入探索如何对食物补充剂效果进行定量评估。

本研究是国内外第一篇针对犬猫肠道菌群的文献计量研究,通过文献大数据分析该领域的研究热点和趋势,希望可以给科研学者提供一些信息参考,使读者对该领域有初步的、较全面的认识。但本研究存在一些局限性,未对中文数据库进行文献计量分析。其原因在于客观上近20年相关中文文章仅11篇,无法单独进行文献计量分析,且因软件功能限制,无法进行中英文数据库混合分析。相关中文文献发文量少的原因在于:目前该领域体量不够大,中国学者在WOS上的发文量也仅为53篇;考虑期刊影响力和学术评价体系等因素,中国学者更认可国际期刊。且该领域内中国学者合作不够紧密,国际影响力不够,建议不同机构的中国学者应加强合作,破除唯SCI论的偏见,将优秀的论文发表在中国期刊上,推动国内期刊质量的提高,进而增加国际影响力。

4 结 论

本研究使用文献计量学方法对犬猫肠道菌群近20年的相关研究进行了可视化分析,总结出近年来研究课题的热点分布和变化趋势,以便读者对该研究领域有更全面的了解。

1)2003—2023年,犬猫肠道菌群研究的文献数量呈逐年增加趋势,美国得克萨斯A&M大学是发文最多的机构,形成了以学者Suchodolski和Swanson为核心的学术共同体,但中国学者间的合作不够紧密;期刊PLOS ONE上的相关发文最多。

2)目前研究方向主要集中在4个方面,分别是营养素对肠道菌群的影响、益生菌对肠道菌群的影响、疾病和肠道菌群紊乱的相关性以及肥胖与肠道菌群的相关性。

3)该领域未来研究的关注重点是各种食物补充剂如何调控犬猫肠道菌群进而改善犬猫整体健康水平。

参考文献 References

- [1] Alessandri G, Argentini C, Milani C, Turrone F, Cristina O M, van Sinderen D, Ventura M. Catching a glimpse of the bacterial gut community of companion animals: A canine and feline perspective [J]. *Microbial Biotechnology*, 2020, 13(6): 1708-1732
- [2] Adak A, Khan M R. An insight into gut microbiota and its functionalities [J]. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2019, 76(3): 473-493
- [3] Hou K J, Wu Z X, Chen X Y, Wang J Q, Zhang D Y, Xiao C X, Zhu D, Koya J B, Wei L Y, Li J L, Chen Z S. Microbiota in health and diseases [J]. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 2022, 7: 135
- [4] Aluai-Cunha C S, Pinto C A, Correia I A D F L, Dos Reis Serra C A, Santos A A F. The animal's microbiome and cancer: A translational perspective [J]. *Veterinary and Comparative Oncology*, 2023, 21(2): 166-183
- [5] Chaitman J, Jergens A E, Gaschen F, Garcia-Mazcorro J F, Marks S L, Marroquin-Cardona A G, Richter K, Rossi G, Suchodolski J S, Weese J S. Commentary on key aspects of fecal microbiota transplantation in small animal practice [J]. *Veterinary Medicine*, 2016, 7: 71-74
- [6] Suchodolski J S. Analysis of the gut microbiome in dogs and cats [J]. *Veterinary Clinical Pathology*, 2022, 50 (Suppl 1): 6-17
- [7] Ziese A L, Suchodolski J S. Impact of changes in gastrointestinal microbiota in canine and feline digestive diseases [J]. *The Veterinary Clinics of North America Small Animal Practice*, 2021, 51(1): 155-169
- [8] Mondo E, Marliani G, Accorsi P A, Cocchi M, Di Leone A. Role of gut microbiota in dog and cat's health and diseases [J]. *Open Veterinary Journal*, 2019, 9(3): 253-258
- [9] Honneffer J B, Minamoto Y, Suchodolski J S. Microbiota alterations in

- acute and chronic gastrointestinal inflammation of cats and dogs [J]. *World Journal of Gastroenterology*, 2014, 20(44): 16489-16497
- [10] Butowski C F, Moon C D, Thomas D G, Young W, Bermingham E N. The effects of raw-meat diets on the gastrointestinal microbiota of the cat and dog: a review [J]. *New Zealand Veterinary Journal*, 2022, 70(1): 1-9
- [11] Ninkov A, Frank J R, Maggio L A. Bibliometrics: Methods for studying academic publishing [J]. *Perspectives on Medical Education*, 2022, 11(3): 173-176
- [12] Gao B, Chi L, Zhu Y X, Shi X C, Tu P C, Li B, Yin J, Gao N, Shen W S, Schnabl B. An introduction to next generation sequencing bioinformatic analysis in gut microbiome studies [J]. *Biomolecules*, 2021, 11(4): 530
- [13] 李明理. 图书情报学核心期刊的洛普定律测定 [J]. 情报科学, 2012, 30(10): 1482-1486
- Li M L. Evaluation of core journals of library and information science based on Lotka's-Price's Law [J]. *Information Science*, 2012, 30(10): 1482-1486 (in Chinese)
- [14] Pilla R, Suchodolski J S. The role of the canine gut microbiome and metabolome in health and gastrointestinal disease [J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020, 6: 498
- [15] Bolyen E, Rideout J R, Dillon M R, Bokulich N A, Abnet C C, Al-Ghalith G A, Alexander H, Alm E J, Arumugam M, Asnicar F, Bai Y, Bisanz J E, Bittinger K, Brejnrod A, Brislawn C J, Brown C T, Callahan B J, Caraballo-Rodriguez A M, Chase J, Cope E K, Da Silva R, Diener C, Dorrestein P C, Douglas G M, Durall D M, Duvallet C, Edwardson C F, Ernst M, Estaki M, Fouquier J, Gauglitz J M, Gibbons S M, Gibson D L, Gonzalez A, Gorlick K, Guo J R, Hillmann B, Holmes S, Holste H, Huttenhower C, Huttley G A, Janssen S, Jarmusch A K, Jiang L J, Kaehler B D, Kang K B, Keefe C R, Keim P, Kelley S T, Knights D, Koester I, Kosciorek T, Kreps J, Langille M G I, Lee J, Ley R, Liu Y X, Loftfield E, Lozupone C, Maher M, Marotz C, Martin B D, McDonald D, McIver L J, Melnik A V, Metcalf J L, Morgan S C, Morton J T, Naimey A T, Navas-Molina J A, Nothias L F, Orchanian S B, Pearson T, Peoples S L, Petras D, Preuss M L, Priesse E, Rasmussen L B, Rivers A, Robeson M S, Rosenthal P, Segata N, Shaffer M, Shiffer A, Sinha R, Song S J, Spear J R, Swafford A D, Thompson L R, Torres P J, Trinh P, Tripathi A, Turnbaugh P J, Ul-Hasan S, van der Hoof J J J, Vargas F, Vázquez-Baeza Y, Vogtmann E, von Hippel M, Walters W, Wan Y H, Wang M X, Warren J, Weber K C, Williamson C H D, Willis A D, Xu Z Z, Zaneveld J R, Zhang Y L, Zhu Q Y, Knight R, Caporaso J G. Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2 [J]. *Nature Biotechnology*, 2019, 37: 852-857
- [16] Coelho L P, Kultima J R, Costea P I, Fournier C, Pan Y L, Czarnecki-Maulden G, Hayward M R, Forslund S K, Schmidt T S B, Descombes P, Jackson J R, Li Q H, Bork P. Similarity of the dog and human gut microbiomes in gene content and response to diet [J]. *Microbiome*, 2018, 6(1): 72
- [17] AlShawaqfeh M K, Wajid B, Minamoto Y, Markel M, Lidbury J A, Steiner J M, Serpedin E, Suchodolski J S. A dysbiosis index to assess microbial changes in fecal samples of dogs with chronic inflammatory

- enteropathy[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2017, 93(11): fix136
- [18] Sandri M, Dal Monego S, Conte G, Sgorlon S, Stefanon B. Raw meat based diet influences faecal microbiome and end products of fermentation in healthy dogs[J]. *BMC Veterinary Research*, 2017, 13(1): 65
- [19] Pilla R, Suchodolski J S. The gut microbiome of dogs and cats, and the influence of diet[J]. *The Veterinary Clinics of North America. small Animal Practice*, 2021, 51(3): 605-621
- [20] Hooda S, Vester Boler B M, Kerr K R, Dowd S E, Swanson K S. The gut microbiome of kittens is affected by dietary protein:carbohydrate ratio and associated with blood metabolite and hormone concentrations[J]. *British Journal of Nutrition*, 2013, 109(9): 1637-1646
- [21] Ephraim E, Cochrane C Y, Jewell D E. Varying protein levels influence metabolomics and the gut microbiome in healthy adult dogs[J]. *Toxins*, 2020, 12(8): 517
- [22] Jackson M I, Jewell D E. Balance of saccharolysis and proteolysis underpins improvements in stool quality induced by adding a fiber bundle containing bound polyphenols to either hydrolyzed meat or grain-rich foods[J]. *Gut Microbes*, 2019, 10(3): 298-320
- [23] Kanakupt K, Vester Boler B M, Dunsford B R, Fahey G C. Effects of short-chain fructooligosaccharides and galactooligosaccharides, individually and in combination, on nutrient digestibility, fecal fermentative metabolite concentrations, and large bowel microbial ecology of healthy adults cats[J]. *Journal of Animal Science*, 2011, 89(5): 1376-1384
- [24] Kim S K, Guevarra R B, Kim Y T, Kwon J, Kim H, Cho J H, Kim H B, Lee J H. Role of probiotics in human gut microbiome-associated diseases[J]. *Journal of microbiology and biotechnology*, 2019, 29(9): 1335-1340
- [25] Benyacoub J, Czarnecki-Maulden G L, Sauthier T, Anderson R E, Schiffrin E J, von der Weid T. Supplementation of food with *Enterococcus faecium* (SF68) stimulates immune functions in young dogs[J]. *The Journal of Nutrition*, 2003, 133(4): 1158-1162
- [26] Stropfová V, Pogány Simonová M, Gancarčíková S, Mudroňová D, Farbáková J, Maďari A, Lauková A. Effect of *Bifidobacterium animalis* B/12 administration in healthy dogs[J]. *Anaerobe*, 2014, 28: 37-43
- [27] Zhao D H, Zhang R C, Wang J M, Zhang X Y, Liu K Y, Zhang H H, Liu H L. Effect of *Limosilactobacillus reuteri* ZJF036 on growth performance and gut microbiota in Juvenile Beagle Dogs[J]. *Current Microbiology*, 2023, 80(5): 155
- [28] Ziese A L, Suchodolski J S, Hartmann K, Busch K, Anderson A, Sarwar F, Sindern N, Unterer S. Effect of probiotic treatment on the clinical course, intestinal microbiome, and toxigenic *Clostridium perfringens* in dogs with acute hemorrhagic diarrhea[J]. *PLoS One*, 2018, 13(9): e0204691
- [29] Diaz-Regañón D, García-Sancho M, Villaescusa A, Sainz Á, Agulla B, Reyes-Prieto M, Rodríguez-Bertos A, Rodríguez-Franco F. Characterization of the fecal and mucosa-associated microbiota in dogs with chronic inflammatory enteropathy[J]. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 2023, 13(3): 326
- [30] Inness V L, McCartney A L, Khoo C, Gross K L, Gibson G R. Molecular characterisation of the gut microflora of healthy and inflammatory bowel disease cats using fluorescence in situ hybridisation with special reference to *Desulfovibrio* spp[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2007, 91(1-2): 48-53
- [31] Bae H, Lim S K, Jo H E, Oh Y, Park J, Choi H J, Yu D. Fecal microbiome in dogs with lymphoid and nonlymphoid tumors[J]. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 2023, 37(2): 648-659
- [32] Boucard A S, Thomas M, Lebon W, Polack B, Florent I, Langella P, Bermúdez-Humarán L G. Age and giardia intestinalis infection impact canine gut microbiota[J]. *Microorganisms*, 2021, 9(9): 1862
- [33] Kim J H, An J H, Lee J H, Park S M, Lim G H, Oh Y I, Seo K W, Youn H Y. Changes in Lactate-related Fecal Microbiome in Hyperlactatemia Diabetic Dogs[J]. *In Vivo*, 2023, 37(2): 696-701
- [34] Baothman O A, Zamzami M A, Taher I, Abubaker J, Abu-Farha M. The role of gut microbiota in the development of obesity and diabetes[J]. *Lipids in Health and Disease*, 2016, 15: 108
- [35] Ma X L, Brinker E, Graff E C, Cao W Q, Gross A L, Johnson A K, Zhang C, Martin D R, Wang X. Whole-genome shotgun metagenomic sequencing reveals distinct gut microbiome signatures of obese cats[J]. *Microbiology Spectrum*, 2022, 10(3): e0083722
- [36] Thomson P, Santibáñez R, Rodríguez-Salas C, Flores-Yanez C, Garrido D. Differences in the composition and predicted functions of the intestinal microbiome of obese and normal weight adult dogs[J]. *PeerJ*, 2022, 10: e12695
- [37] Pallotto M R, de Godoy M R C, Holscher H D, Buff P R, Swanson K S. Effects of weight loss with a moderate-protein, high-fiber diet on body composition, voluntary physical activity, and fecal microbiota of obese cats[J]. *American Journal of Veterinary Research*, 2018, 79(2): 181-190
- [38] Vecchiato C G, Golinelli S, Pinna C, Pilla R, Suchodolski J S, Tvarijonaviciute A, Rubio C P, Dorato E, Delsante C, Stefanelli C, Pagani E, Fracassi F, Biagi G. Fecal microbiota and inflammatory and antioxidant status of obese and lean dogs, and the effect of caloric restriction[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2023, 13: 1050474
- [39] Garcia-Mazcorro J F, Barcenás-Walls J R, Suchodolski J S, Steiner J M. Molecular assessment of the fecal microbiota in healthy cats and dogs before and during supplementation with fructo-oligosaccharides (FOS) and inulin using high-throughput 454-pyrosequencing[J]. *PeerJ*, 2017, 5: e3184
- [40] Garcia-Mazcorro J F, Lanerie D J, Dowd S E, Paddock C G, Grützner N, Steiner J M, Ivanek R, Suchodolski J S. Effect of a multi-species synbiotic formulation on fecal bacterial microbiota of healthy cats and dogs as evaluated by pyrosequencing[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2011, 78(3): 542-554
- [41] Cao J W, Chen M Y, Xu R, Guo M Y. Therapeutic mechanisms of berberine to improve the intestinal barrier function via modulating gut microbiota, TLR4/NF- κ B/MTORC pathway and autophagy in cats[J]. *Frontiers in microbiology*, 2022, 13: 961885
- [42] Yang K, Jian S Y, Guo D, Wen C Y, Xin Z Q, Zhang L M, Kuang T, Wen J W, Yin Y L, Deng B C. Fecal microbiota and metabolomics revealed the effect of long-term consumption of gallic acid on canine lipid metabolism and gut health[J]. *Food Chemistry: X*, 2022, 15: 100377
- [43] Pinna C, Vecchiato C G, Cardenia V, Rodríguez-Estrada M T, Stefanelli C, Grandi M, Gatta P P, Biagi G. An *in vitro* evaluation of the effects of a *Yucca schidigera* extract and chestnut tannins on composition

- and metabolic profiles of canine and feline faecal microbiota[J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2017, 71(5): 395-412
- [44] Jugan M C, Rudinsky A J, Parker V J, Gilor C. Use of probiotics in small animal veterinary medicine[J]. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 2017, 250(5): 519-528
- [45] Żółkiewicz J, Marzec A, Ruszczyński M, Feleszko W. Postbiotics-a step beyond pre- and probiotics[J]. *Nutrients*, 2020, 12(8): 2189
- [46] Gao X X, Zhao J X, Chen W, Zhai Q X. Food and drug design for gut microbiota-directed regulation: Current experimental landscape and future innovation[J]. *Pharmacological Research*, 2023, 194: 106867

责任编辑: 秦梅



第一作者简介: 高思源, 硕士研究生, 研究方向为小动物营养。2022年获得吉林大学农学学士学位, 同年进入中国农业大学动物医学院攻读硕士学位, 本科在校期间曾多次获得国家级及校级奖学金, 研究生期间获得学业二等奖学金, 参与猫营养相关课题1项。



通讯作者简介: 夏兆飞, 中国农业大学动物医学院临床兽医系教授、博士生导师。现任中国农业大学动物医学院临床兽医系系主任、教学动物医院院长, 中国兽医协会宠物诊疗分会会长, 北京小动物诊疗行业协会会长, 《中国兽医杂志》副主编。主持纵向和横向科研项目20余项, 发表论文100余篇, 主编或主译教材/著作20余部。主要兴趣领域有小动物临床诊疗技术、小动物临床营养和动物医院经营管理等。