

犬猫肠道菌群特点及益生菌对肠道菌群的调控研究进展

张美婷¹, 牛玉¹, 王国明², 康佳¹, 王润羽¹, 陈广勇², 杨彩梅^{1*}

(1. 浙江农林大学动物科技学院·动物医学院, 浙江杭州 311300;

2. 浙江惠嘉生物科技股份有限公司, 浙江湖州 311300)

摘要: 肠道菌群在调节动物免疫功能、营养物质代谢和消化吸收中发挥着重要作用, 影响着肠道稳态和宿主健康。近年来, 益生菌作为一种安全且有效的微生态制剂广泛应用于调节犬猫肠道平衡, 维护犬猫健康。然而, 益生菌的作用效果受菌株特异性、宿主差异性等因素影响, 其具体机制仍需进一步研究。目前, 犬猫的肠道菌群研究处于起步阶段, 本文就犬猫肠道菌群的特点、肠道菌群对营养物质代谢与宿主健康的影响、及益生菌对犬猫肠道菌群的调控作用进行了综述, 旨在为改善犬猫肠道健康及促进功能性宠物食品开发提供理论依据。

关键词: 犬猫; 肠道菌群; 益生菌

中图分类号: S829

文献标识码: A

DOI 编号: 10.19556/j.0258-7033.20250221-07

随着社会进步和生活水平的提高, 犬和猫作为家庭成员之一, 其健康尤其是肠道健康越来越受到关注。有研究表明, 肠道菌群失调与犬猫多种疾病相关^[1]。犬猫的肠道菌群与其他哺乳动物相似, 具有调节免疫、改善营养物质代谢、影响神经信号等功能, 在犬猫健康中发挥重要作用^[2]。研究表明, 犬猫肠道菌群主要由厚壁菌门、拟杆菌门、变形菌门和放线菌门等组成, 各菌群的

相对丰度存在差异^[3]。与人类肠道菌群研究相比, 犬猫的肠道菌群和营养调控方法研究还处于起步阶段。

益生菌作为对宿主健康有益处的活性微生物, 主要通过调节肠道菌群平衡、增强肠道屏障、调节免疫反应等途径, 在改善犬猫肠道健康中发挥重要作用。然而, 犬猫本源益生菌的特性, 益生菌在犬猫应用上的适宜剂量及作用机制研究较少。本文综述了犬猫肠道菌群的特点及其与健康的关系, 并探讨益生菌对犬猫肠道菌群的调控机制, 为益生菌在犬猫中的合理应用提供理论依据。

1 犬猫肠道菌群的特点

相比于牛羊等草食动物, 犬猫的肠道较短但肠壁较

收稿日期: 2025-02-21; 修回日期: 2025-03-15

资助项目: 国家重点研发计划 (2023YFD1302800)

作者简介: 张美婷 (2000-), 女, 浙江宁波人, 硕士, 主要从事宠物肠道健康调控方面的研究, E-mail: Mittyours@163.com

* 通信作者: 杨彩梅 (1973-), 女, 湖北天门人, 博士, 教授, 主要从事动物营养与饲料科学方面的研究, E-mail: yangcaimei2012@163.com

Abstract: With the development of modern animal husbandry, the intensive livestock farming improves the efficiency of rearing, but at the meantime increases the risk of transmission of infectious diseases, which has a serious impact on animal husbandry and human health. Traditional drug treatment and breeding methods have limitations in dealing with the diseases, and it is difficult to solve the problem at the root. The development and application of gene editing technologies provides a new strategy for disease resistance breeding of livestock and poultry. This article reviews the development of gene editing technologies and their application in disease resistance breeding of major livestock such as pigs, cattle and sheep, focusing on the application of gene editing technologies in the prevention and control of important infectious diseases such as porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS), swine fever (CSF), African swine fever (ASF), bovine mastitis and tuberculosis (bTB). It is expected to provide a reference for the further research and disease resistance breeding in this field.

Keywords: Gene editing; Breeding for disease resistance; Infectious diseases; Viruses; Immunity

(责任编辑: 石丽丹)

厚，不依赖微生物发酵维持能量平衡^[3]。与多数哺乳动物相似，犬猫肠道微生物由需氧菌、兼性厌氧菌和严格厌氧菌组成^[4-5]，菌群丰度与多样性沿胃肠道梯度增加^[6]。拟杆菌门、厚壁菌门、变形菌门和放线菌门作为犬猫肠道中的优势菌群，但在种类和数量上存在个体差异^[7]。犬十二指肠与空肠中以真菌、拟杆菌属、梭菌属、双歧杆菌属和乳杆菌属为主，而在猫十二指肠内主要为巴斯德菌、拟杆菌、真菌和梭菌，空肠中以肠球菌属、链球菌属和乳酸杆菌属为优势菌属^[8-9]。此外，研究表明，厚壁菌门在犬和猫的粪便中丰度较高，但在优势菌属存在差异，犬以梭菌属、肠球菌属、真菌为主，而肠球菌属、链球菌属、乳杆菌属和梭菌属在猫粪便中丰度较高^[10-11]。Swanson 等^[12]使用宏基因组来表征犬胃肠道微生物组的系统发育和功能，结果显示犬与人、小鼠之间的发育与代谢具有相似性，且犬的肠道微生物组与人类类似，主要为厚壁菌门、变形菌门、拟杆菌门。

随着科学技术的不断发展，犬猫肠道菌群多样性的研究方面呈现出新的视野。从传统的微生物培养发展到代谢组学与宏基因组测序，犬猫肠道菌群研究不断深入^[13]。近年来，尽管代谢组学与转录组学的发展揭示了微生物与代谢物之间的关系，但是犬猫肠道微生物与宿主之间的代谢相互作用机制还尚未明确。受动物福利的限制，犬猫胃肠道菌群的研究主要集中于粪便菌群。Garcia-Mazcorro 等^[14]利用荧光原位杂交和 16S rRNA 测序发现，犬粪便细菌菌群占比超过 90%。Hand 等^[15]通过焦磷酸测序进一步揭示了梭杆菌为犬粪便中丰度较高的菌群。

2 犬猫肠道菌群对营养物质代谢的影响

肠道微生物在维持宿主胃肠道健康方面起着重要作用。微生物菌群具有抵御肠道病原体、促进上皮细胞和免疫系统发育的作用^[16]。肠道菌群通过竞争氧气、营

养物质及黏膜位点，分泌抗菌物质及改变肠道 pH，形成肠道屏障，抵御病原体入侵^[17]。研究表明肠道微生物对肠道上皮结构具有重要影响^[18]。

在健康的犬猫中，肠道菌群通过调节营养物质的代谢从而影响宿主的能量平衡和健康状态^[18]。复合碳水化合物在肠道菌群的作用下产生乙酸、丁酸等多种短链脂肪酸（Short-chain Fatty Acids, SCFAs），其可通过肠道菌群调节多种代谢途径，包括葡萄糖代谢、脂质代谢等，能为上皮细胞提供能量并调节肠道蠕动^[19]。研究表明，SCFAs 可通过抑制 G 蛋白偶联受体调节 T 细胞中的组蛋白去乙酰化酶而发挥抗炎作用^[20]。此外，肠道菌群产生的 N-酰基酰胺作为内源性大麻素模拟物，通过 G 蛋白偶联受体 119 结合调节宿主葡萄糖代谢^[21]。Perry 等^[22]研究发现，小鼠肠道菌群改变可诱导乙酸生成增加，进而增强胰岛素分泌并促进脂肪储存，揭示了肠道菌群代谢产物在宿主能量代谢中的调控机制。这些发现为犬猫肠道菌群的功能、组成及代谢机制提供了重要依据。

3 犬猫肠道菌群与肠道疾病的关系

炎症性肠病（inflammatory bowel disease, IBD）是一种慢性胃肠道疾病，肠道菌群失调被认为是其发病机制的诱导因素，犬猫 IBD 患者肠道菌群组成和丰度与健康个体存在显著差异（表 1）^[23]。人肠道菌群与 IBD 存在相关性，近年随着犬猫肠道菌群的深入研究，发现人类与患 IBD 的犬猫肠道菌群失调表现出相似的变化^[24]。Xenoulis 等^[25]等通过 16S rRNA 检测发现，IBD 患犬的十二指肠菌群丰度显著降低，具体表现为拟杆菌门降低，且菌群组成与健康犬相比存在失衡现象。Suchodolski 等^[26]进一步研究表明，急性出血性腹泻（Acute Hemorrhagic Diarrhea, AHD）和 IBD 患犬的粪便微生物组中瘤胃球菌属、苏黎世杆菌属、产气荚膜

表 1 犬猫肠道疾病与肠道菌群变化

品种	疾病	方法	菌群及代谢物变化	来源
犬	IBD	16S rRNA	肠道中肠杆菌科增加，拟杆菌门降低	[25]
	IBD、AHD	16S rRNA、qPCR	AHD 患犬粪便中萨特氏菌属增加，放线菌门和厚壁菌门比例下降；IBD 患犬粪便中粪杆菌属降低	[26]
	AD	16S rRNA、qPCR	肠道中产气荚膜梭菌增加，粪便中拟杆菌门序列减少，梭菌属增加	[28]
	CE	16S rRNA、qPCR	粪便菌群多样性降低，拟杆菌属、粪杆菌属、梭杆菌属、苏黎世杆菌属显著降低	[29]
		qPCR	粪便中粪杆菌属丰度显著降低	[30]
猫	IBD	荧光原位杂交	十二指肠中肠杆菌科增加，粪便中拟杆菌和双歧杆菌降低	[27]

菌属与萨特氏菌属显著减少，粪杆菌属和梭杆菌在 IBD 犬中减少。类似的现象也见于猫 IBD，表现为双歧杆菌减少和大肠杆菌增加^[27]。

目前，肠道菌群对犬猫肠道疾病的影响主要集中在犬，而猫患肠道疾病的临床研究较少。此外，由疾病引起肠道菌群的改变是否只存在特定肠道和特定菌群还需进一步研究，未来也可根据品种分类对比相同疾病状态下肠道菌群的结构差异。

此外，处于肠道疾病的犬猫其肠道菌群代谢物也会产生相应的变化，且与全身代谢状态相关。Guard 等^[28]等研究发现，急性腹泻（Acute Diarrhea，AD）患犬粪便中拟杆菌门序列显著减少，粪便中丙酸浓度和血清中犬尿喹啉酸浓度显著降低，表明 AD 中粪便菌群失调与全身代谢状态的改变有关。Minamoto 等^[29]发现慢性肠病（Chronic Enteropathy，CE）患犬的粪便菌群多样性、丰富度以及乙酸浓度均低于健康犬。Blake 等^[30]研究表明，CE 患犬粪便中的 L-乳酸浓度显著增加，次级胆汁酸浓度降低，表示代谢物变化与肠道菌群失调有着密切关系。

4 益生菌对犬猫肠道菌群的调控作用

益生菌被国际益生菌和益生元科学协会定义为在机体定植达到一定数量时对宿主健康有益的活体微生物^[31]。在人类领域已有大量的研究表明，益生菌可以通过营养调控来改变肠道菌群和其代谢产物的产生，因此可通过益生菌干预来改善犬猫肠道菌群环境从而促进犬猫健康成长，这是目前的研究热点^[18,32]。益生菌在犬猫上的应用研究汇总见表 2。

4.1 益生菌改善犬猫肠道菌群结构 益生菌可通过与宿主微生物群相互作用维护宿主健康，具有维持和增强肠上皮屏障完整性的功能，也能通过产生细菌素和有机酸来抑制病原菌的定植^[33-35]。

Manninen 等^[36]发现，喂食乳酸菌（LAB8 和 LAB12）

的比格犬微生物群中，乳酸菌存活并占据主导地位，证实其具有调控肠道微生物群的能力。White 等^[37]研究表明，复合益生菌可增加 IBD 犬黏膜中细菌总量和乳酸杆菌数量，并快速缓解临床症状。Ziese 等^[38]进一步证实，益生菌对犬患急性出血性腹泻综合征的肠道菌群恢复有促进作用。Xu 等^[39]利用宏基因组学分析发现，添加干酪乳杆菌、植物乳杆菌 P-8 和双歧杆菌动物乳杆菌 V9 后，犬粪便中拟杆菌属、双歧杆菌属和消化链球菌属显著升高，进一步揭示了益生菌在改善犬肠道微生物群组成和功能方面具有有益作用。

4.2 益生菌提升犬猫免疫功能 益生菌通过调节肠道菌群结构和功能，显著改善犬猫的免疫功能和肠道健康。Xu 等^[40]研究发现，老年犬口服干酪乳杆菌、植物乳杆菌 P-8 和双歧乳杆菌 V9 后，肠道菌群结构得到优化，并通过刺激抗体和细胞因子的分泌增强肠道黏膜免疫屏障，从而提高免疫力。赵梦迪等^[41-42]研究表明，在日粮中添加 2×10^{10} CFU/d 的犬源嗜酸乳杆菌 GLA 09 可显著增加比格犬粪便中分泌型免疫球蛋白 A 含量和血清免疫球蛋白 G 含量，从而改善提高犬的免疫功能。最近的研究表明，双歧乳杆菌和植物乳杆菌通过降低血浆 D-乳酸浓度和二胺氧化酶浓度，增加胃肠道有益菌的丰度，从而引起血清中免疫球蛋白 A 水平提高^[43]。这些研究证实了益生菌在调节犬猫肠道菌群、增强免疫力和改善健康方面的潜力。

4.3 益生菌影响犬猫营养物质代谢 肠道菌群在维持肠道稳态的过程中发挥中重要作用，近年来大量研究表明，其与宿主代谢健康之间存在紧密且复杂的关联，而益生菌作为调节肠道菌群的关键手段，可通过改变肠道菌群的丰度^[44]、调控多种信号途径的传导^[45]，间接参与宿主代谢过程^[46]。

研究表明，益生菌可通过促进有益菌的定值，增强蛋白质的消化和吸收效率^[47]。Kim 等^[48]发现鼠李糖乳杆菌 IDCC 3201 可通过分泌蛋白酶水解乳蛋白，显

表 2 益生菌在犬猫上的应用研究结果

分类	菌株名称	应用对象	主要功能	来源
乳杆菌属	植物乳杆菌	犬	增加采食量与免疫力	[40]
		猫	降低血浆中 D-乳酸浓度和二胺氧化酶浓度，改善肠道屏障功能	[44]
	嗜酸乳杆菌	犬	提升血清总抗氧化、免疫能力，粪便中乙酸、丙酸、异丁酸等短链脂肪酸代谢产物增加	[41-42]
双歧杆菌属	双歧乳杆菌	猫	增加免疫球蛋白水平和有益菌的丰度，提升抗氧化功能	[43]
		犬	通过短链脂肪酸和羧酸的生成，促进糖酵解，有利于 ATP 的生成	[50]
革兰阳性球菌	屎肠球菌	犬	产生乙酸、丁酸等代谢产物，刺激多巴胺的生成	[50]

著提高小鼠的蛋白质消化率。此外, 益生菌在脂质代谢中也发挥重要作用, 其通过产生 SCFA、胆盐水解酶和超氧化物歧化酶等调控脂质代谢^[49]。Kang 等^[50]研究发现屎肠球菌 IDCC 2102 和双歧乳杆菌 IDCC 4301 在高脂饮食犬模型中具有减少炎症和调节激素的能力, 提出了二者应用于治疗肥胖动物的观点。其中 IDCC 4301 通过促进糖酵解和 SCFA 的生成改善代谢, 而 IDCC 2102 通过产生乙酸和丁酸等代谢产物刺激犬多巴胺的合成^[50]。Ban 等^[51]在小鼠实验中证实, 双歧乳杆菌 IDCC 4301 可通过抑制 3T3-L1 细胞中脂肪酶的表达减少细胞分化和脂质积累, 从而改善肥胖相关代谢紊乱。

益生菌可通过调节蛋白质、脂质代谢等营养物质代谢, 改善犬猫的营养物质利用率和代谢健康。未来的研究可通过宏基因组学和代谢组学技术, 分析益生菌如何通过调节肠道菌群影响宿主代谢物的产生, 进而改善机体健康。

4.4 益生菌对肠 - 脑轴的影响 肠道菌群 - 肠 - 脑轴在胃肠道与大脑之间的交流联系中发挥关键作用, 而益生菌可通过调节免疫、神经和代谢途径影响这一轴线的功能^[52-53]。Zheng 等^[54]发现口服丁酸梭菌可显著缓解小鼠的认知障碍, 同时维持肠道菌群稳态, 并减轻内毒素血症, 首次表明丁酸梭菌通过肠 - 脑轴对肥胖相关的认知障碍和神经退化的保护作用。Hamid 等^[55]研究表明, 鼠李糖乳杆菌 GG 和双歧乳杆菌 BB-12 可通过调节肠 - 脑轴, 显著改善 AIC13 诱导的阿尔茨海默病小鼠上的焦虑、神经炎症和认知缺陷, 揭示了益生菌在神经退行性疾病中的潜在治疗价值。以上研究表明, 益生菌对神经退行性疾病和认知功能障碍具有潜在的改善作用, 但在犬猫上的研究还需进一步加强。未来可以犬阿尔茨海默模型为基础^[56], 探究益生菌对犬认知功能障碍的影响, 进一步探究益生菌 - 肠道 - 脑轴三者之间的联系。

5 小结

综上所述, 益生菌在调节肠道菌群结构、增强免疫功能、改善营养物质代谢及影响肠脑轴方面具有潜在作用, 但其具体机制还需深入研究。未来研究应聚焦于益生菌通过信号通路增强免疫功能的分子机制, 并在犬猫模型中进一步验证其对营养物质代谢和肠 - 脑轴的调控作用。

随着对犬猫肠道菌群研究的不断深入, 深入解析犬

猫不同生理状态下的菌群特征及动态变化, 对维护其健康具有重要意义, 同时为筛选益生菌提供了理论依据。

近年来, 宿主源益生菌优于非宿主源益生菌观点的提出, 使在犬、猫本源益生菌的研发成为新的热点。当前研究需弥补猫肠道菌群长周期、大样本临床试验的不足, 并加强犬猫本源益生菌的研发。未来研究还需结合多组学技术(如宏基因组学、代谢组学), 系统评估益生菌对肠道菌群结构、代谢功能及宿主健康的影响, 并建立益生菌安全性评价系统, 为开发高效、优良、安全的益生菌制剂提供科学支持。

参考文献:

- [1] Visentin M, Diop-Bove N, Zhao R, *et al.* The intestinal absorption of folates[J]. *Annu Rev Physiol*, 2014, 76.
- [2] Lee D, Goh T W, Kang M G, *et al.* Perspectives and advances in probiotics and the gut microbiome in companion animals[J]. *J Anim Sci Technol*, 2022, 64(2): 197-217.
- [3] 魏宝宁, 何俊慷, 刘文智, 等. 犬猫肠道健康的研究进展 [J]. *广东畜牧兽医科技*, 2024(3-49): 65-70.
- [4] Lopetuso L R, Petito V, Graziani C, *et al.* Gut microbiota in health, diverticular disease, irritable bowel syndrome, and inflammatory bowel diseases: time for microbial marker of gastrointestinal disorders[J]. *Digest Dis*, 2018, 36(1): 56-65.
- [5] Gorkiewicz G, Moschen A. Gut microbiome: a new player in gastrointestinal disease[J]. *Virchows Arch*, 2018, 472(1): 159-172.
- [6] Proctor D M, Relman D A. The landscape ecology and microbiota of the human nose, mouth, and throat[J]. *Cell Host Microbe*, 2017, 21(4): 421-432.
- [7] Suchodolski J S, Ruaux C G, Steiner J M, *et al.* Assessment of the qualitative variation in bacterial microflora among compartments of the intestinal tract of dogs by use of a molecular fingerprinting technique[J]. *Am J Vet Res*, 2005, 66(9): 1556-1562.
- [8] Hooda S, Minamoto Y, Suchodolski J S, *et al.* Current state of knowledge: the canine gastrointestinal microbiome[J]. *Anim Health Res Rev*, 2012, 13(1): 78-88.
- [9] Rochus K, Janssens G P J, Hesta M. Dietary fibre and the importance of the gut microbiota in feline nutrition: a review[J]. *Nutr Res Rev*, 2014, 27(2): 295-307.
- [10] Case L P, Daristotle L, Hayek M G, *et al.* Canine and Feline Nutrition[M]. 3th ed. Netherlands, Elsevier inc, 2011: 44-47.
- [11] Alessandri G, Milani C, Mancabelli L, *et al.* Deciphering the bifidobacterial populations within the canine and feline gut microbiota[J]. *Appl Environ Microbiol*, 2020, 86(7): e02875-19.
- [12] Swanson K S, Dowd S E, Suchodolski J S, *et al.* Phylogenetic and gene-centric metagenomics of the canine intestinal microbiome reveals similarities with humans and mice[J]. *ISME J*, 2011, 5(4): 639-649.

- [13] Jha A R, Shmalberg J, Tanprasertsuk J, *et al.* Characterization of gut microbiomes of household pets in the United States using a direct-to-consumer approach[J]. PLoS One, 2020, 15(2): e0227289.
- [14] Garcia-Mazcorro J F, Dowd S E, Poulsen J, *et al.* Abundance and short-term temporal variability of fecal microbiota in healthy dogs[J]. Microbiologyopen, 2012, 1(3): 340-347.
- [15] Hand D, Wallis C, Colyer A, *et al.* Pyrosequencing the canine faecal microbiota: breadth and depth of biodiversity[J]. PLoS One, 2013, 8(1): e53115.
- [16] Al-Asmakh M, Zadjali F. Use of germ-free animal models in microbiota-related research[J]. J Microbiol Biotechnol, 2015, 25(10): 1583-1588.
- [17] Buddington R K. Postnatal changes in bacterial populations in the gastrointestinal tract of dogs[J]. Am J Vet Res, 2003, 64(5): 646-651.
- [18] Suchodolski J S. Companion animals symposium: microbes and gastrointestinal health of dogs and cats[J]. J Anim Sci, 2011, 89(5): 1520-1530.
- [19] He J, Zhang P, Shen L, *et al.* Short-chain fatty acids and their association with signalling pathways in inflammation, glucose and lipid metabolism[J]. Int J Mol Sci, 2020, 21(17): 6356.
- [20] Pilla R, Suchodolski J S. The role of the canine gut microbiome and metabolome in health and gastrointestinal disease[J]. Front Vet Sci, 2019, 6: 498.
- [21] Fan Y, Pedersen O. Gut microbiota in human metabolic health and disease[J]. Nat Rev Microbiol, 2021, 19(1): 55-71.
- [22] Perry R J, Peng L, Barry N A, *et al.* Acetate mediates a microbiome-brain- β -cell axis to promote metabolic syndrome[J]. Nature, 2016, 534(7606): 213-217.
- [23] Berer K, Krishnamoorthy G. Microbial view of central nervous system autoimmunity[J]. Febs Lett, 2014, 588(22): 4207-4213.
- [24] Blake A B, Suchodolski J S. Importance of gut microbiota for the health and disease of dogs and cats[J]. Anim Front, 2016, 6(3): 37-42.
- [25] Xenoulis P G, Palculict B, Allenspach K, *et al.* Molecular-phylogenetic characterization of microbial communities imbalances in the small intestine of dogs with inflammatory bowel disease[J]. Fems Microbiol Ecol, 2008, 66(3): 579-589.
- [26] Suchodolski J S, Markel M E, Garcia-Mazcorro J F M, *et al.* The fecal microbiome in dogs with acute diarrhea and idiopathic inflammatory bowel disease[J]. PLoS One, 2012, 7(12): e51907.
- [27] Honneffer J B, Minamoto Y, Suchodolski J S. Microbiota alterations in acute and chronic gastrointestinal inflammation of cats and dogs[J]. World J Gastroenterol, 2014, 20(44): 16489-16497.
- [28] Guard B C, Barr J W, Reddivari L, *et al.* Characterization of microbial dysbiosis and metabolomic changes in dogs with acute diarrhea[J]. PLoS One, 2015, 10(5): e0127259.
- [29] Minamoto Y, Minamoto T, Isaiah A, *et al.* Fecal short-chain fatty acid concentrations and dysbiosis in dogs with chronic enteropathy[J]. J Vet Intern Med, 2019, 33(4): 1608-1618.
- [30] Blake A B, Guard B C, Honneffer J B, *et al.* Altered microbiota, fecal lactate, and fecal bile acids in dogs with gastrointestinal disease[J]. PLoS One, 2019, 14(10): e0224454.
- [31] Hill G, Guarner F, Reid G, *et al.* The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic [J]. Nat Rev Gastroenterol Hepatol, 2014, 11(8): 506-514.
- [32] Xia J, Cui Y, Guo Y, *et al.* The function of probiotics and prebiotics on canine intestinal health and their evaluation criteria[J]. Microorganism, 2024, 12(6): 1248.
- [33] Schmitz S, Suchodolski J. Understanding the canine intestinal microbiota and its modification by pro-, pre- and synbiotics - what is the evidence?[J]. Vet Med Sci, 2016, 2(2): 71-94.
- [34] Simon E, Călinoiu L F, Mitrea L, *et al.* Probiotics, prebiotics, and synbiotics: implications and beneficial effects against irritable bowel syndrome[J]. Nutrients, 2021, 13(6): 2112.
- [35] Yan F, Polk D B. Probiotics and probiotic-derived functional factors-mechanistic insights into applications for intestinal homeostasis[J]. Front Immunol, 2020, 11: 1428.
- [36] Manninen T J K, Rinkinen M L, Beasley S S, *et al.* Alteration of the canine small-intestinal lactic acid bacterium microbiota by feeding of potential probiotics[J]. Appl Environ Microbiol, 2006, 72(10): 6539-6543.
- [37] White R, Atherly T, Guard B, *et al.* Randomized, controlled trial evaluating the effect of multi-strain probiotic on the mucosal microbiota in canine idiopathic inflammatory bowel disease[J]. Gut Microbes, 2017, 8(5): 451-466.
- [38] Ziese A L, Suchodolski J S, Hartmann K, *et al.* 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): 0204691.
- [39] Xu H, Zhao F, Hou Q, *et al.* Metagenomic analysis revealed beneficial effects of probiotics in improving the composition and function of the gut microbiota in dogs with diarrhoea[J]. Food Funct, 2019, 10(5): 2618-2629.
- [40] Xu H, Huang W, Hou Q, *et al.* Oral administration of compound probiotics improved canine feed intake, weight gain, immunity and intestinal microbiota[J]. Front Immunol, 2019, 10: 666.
- [41] 赵梦迪, 张媛媛, 李悦垚, 等. 犬源嗜酸乳杆菌 GLA09 对成年比格犬肠道菌群及代谢组的影响 [J]. 动物营养学报, 2024(11): 1-11.
- [42] 赵梦迪, 张媛媛, 李鑫康 等. 犬源嗜酸乳杆菌 GLA09 对成年比格犬消化代谢、抗氧化能力、免疫功能及粪便中短链脂肪酸含量的影响 [J]. 动物营养学报, 2024, 36(10): 6700-6709.
- [43] Wang W, Dong H, Chang X, *et al.* Bifidobacterium lactis and lactobacillus plantarum enhance immune function and antioxidant capacity in cats through modulation of the gut microbiota[J]. Antioxidants Basel, 2024, 13(7): 764.
- [44] 夏俊良, 崔玉凌, 邓百川. 益生菌调控犬肠道健康的研究进展 [J]. 广东饲料, 2024, 33(4): 34-38.
- [45] 王怡然, 丁丽敏, 赵丽红. 益生菌对宠物健康的调控作用及机制研究进展 [J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60(3): 1-8.

- [46] Markowiak-Kopeć P, Śliżewska K. The effect of probiotics on the production of short-chain fatty acids by human intestinal microbiome[J]. *Nutrients*, 2020, 12(4): 1107.
- [47] Wang J, Ji H. Influence of probiotics on dietary protein digestion and utilization in the gastrointestinal tract[J]. *Curr Protein Peptide Sci*, 2019, 20(2): 125-131.
- [48] Kim H, Kim J, Lee M, *et al.* Increased amino acid absorption mediated by *Lactobacillus rhamnosus* IDCC 3201 in high-protein diet-fed mice[J]. *Microbiol Biotechnol*, 2023, 33(4): 511-518.
- [49] Wu T, Wang G, Xiong Z, *et al.* Probiotics interact with lipids metabolism and affect gut health[J]. *Front Nutr*, 2022, 9: 917043.
- [50] Kang A, Kwak M J, Lee D J, *et al.* Dietary supplementation with probiotics promotes weight loss by reshaping the gut microbiome and energy metabolism in obese dogs[J]. *Microbiol Spectr*, 2024, 12(3): 0255223.
- [51] Ban O H, Lee M, Bang W Y, *et al.* *Bifidobacterium lactis* IDCC 4301 exerts anti-obesity effects in high-fat diet-fed mice model by regulating lipid metabolism[J]. *Mol Nutr Food Res*, 2023, 67(3): 2200385.
- [52] Das S, Undhad T J, Hati S. Chapter 28-Gut-brain communication: a novel application of probiotics[M]. Bagchi D, Downs B W. *Microbiome, Immunity, Digestive Health and Nutrition*. Academic Press, 2022: 405-416.
- [53] Liu X, Cao S, Zhang X. Modulation of gut microbiota-brain axis by probiotics, prebiotics, and diet[J]. *J Agric Food Chem*, 2015, 63(36): 7885-7895.
- [54] Zheng M, Ye H, Yang X, *et al.* Probiotic *Clostridium butyricum* ameliorates cognitive impairment in obesity via the microbiota-gut-brain axis[J]. *Brain Behav Immun*, 2024, 115: 565-587.
- [55] Hamid M, Zahid S. Ameliorative effects of probiotics in AIC13-induced mouse model of Alzheimer's disease[J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2023, 107(18): 5803-5812.
- [56] De Sousa A A, Rigby Dames B A, Graff E C, *et al.* Going beyond established model systems of Alzheimer's disease: companion animals provide novel insights into the neurobiology of aging [J]. *Commun Biol*, 2023, 6(1): 655.

Research Progress on the Characteristics of Gut Microbiota in Dogs and Cats and the Regulatory Effects of Probiotics

ZHANG Meiting¹, NIU Yu¹, WANG Guoming², KANG Jia¹, WANG Runyu¹, CHEN Guangyong², YANG Caimei^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, College of Veterinary Medicine, Zhejiang Hangzhou 311300, China;

2. Zhejiang Vegamax Biotechnology, Zhejiang Anji 311300, China)

Abstract: The gut microbiota plays a crucial role in regulating immune function, nutrient metabolism, and digestion and absorption in animals, significantly influencing intestinal homeostasis and host health. In recent years, probiotics have been widely utilized as safe and effective microecological agents to modulate the intestinal balance of dogs and cats, thereby promoting their overall health. However, the efficacy of probiotics is influenced by factors such as strain specificity and host variability, and their precise mechanisms require further investigation. Currently, researches on the gut microbiota of dogs and cats are still in its early stages. This review summarizes the characteristics of the gut microbiota in dogs and cats, its impact on nutrient metabolism and host health, and the regulatory effects of probiotics on the gut microbiota of dogs and cats. The aim is to provide a theoretical foundation for improving intestinal health in dogs and cats and advancing the development of functional pet foods.

Keywords: Dogs and Cats; Gut Microbiota; Probiotics

(责任编辑: 周会会)