

张瑞, 胡万金, 钟赛薇, 等. 屎肠球菌 Kimate-X 对幼犬生长发育和肠道菌群稳态的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (5): 56-63.

ZHANG R, HU W J, ZHONG S W, et al. The impact of *Enterococcus faecium* Kimate-X on the growth and development of puppies and the homeostasis of their gut microbiota [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (5): 56-63.

## 屎肠球菌 Kimate-X 对幼犬生长发育和肠道菌群稳态的影响

张瑞<sup>1,2</sup>, 胡万金<sup>2</sup>, 钟赛薇<sup>2</sup>, 陈美如<sup>2</sup>, 庾庆华<sup>1,2\*</sup>

(1. 南京农业大学动物医学院, 江苏 南京 210095;

2. 迪辅乐生物(上海)有限公司微生物与免疫代谢实验室, 上海 200050)

**摘要:** 旨在探讨屎肠球菌 Kimate-X 对幼犬生长发育、血液学参数、免疫学指标、肠道菌群结构及代谢功能的潜在影响。选用 16 只 2 月龄比格犬随机分为对照组和益生菌组, 每组 8 只, 对照组饲喂基础饲料, 益生菌组在基础饲料中添加屎肠球菌 Kimate-X ( $2 \times 10^9$  CFU/d), 试验共持续 6 周, 测量体重、体高、体长, 对血液学、免疫学指标及宏基因组测序指标进行系统性评估。结果: 屎肠球菌 Kimate-X 显著促进了幼犬的体重增长 ( $P < 0.01$ ) 和体长发育 ( $P < 0.05$ ), 显著提高了血液中的红细胞数和血红蛋白浓度 ( $P < 0.05$ ), 以及高密度脂蛋白浓度 ( $P < 0.05$ ); 免疫学检测表明, 屎肠球菌 Kimate-X 能提高免疫球蛋白 G (IgG) 水平 ( $P < 0.05$ ), 增强免疫功能; 通过宏基因组测序分析揭示, 屎肠球菌 Kimate-X 能够调节肠道菌群组成, 显著提升有益菌联合乳杆菌 (*Ligilactobacillus saerimneri*) 的丰度, 有效降低潜在致病菌如大肠杆菌 (*Escherichia coli*) 的相对丰度; 功能注释分析进一步显示, 屎肠球菌 Kimate-X 能够增强肠道菌群的 DNA 修复能力, 促进能量代谢功能的提升。结论: 屎肠球菌 Kimate-X 对幼犬的生长发育、免疫功能具有显著促进作用, 并能有效调节肠道菌群及其代谢功能, 展现出良好的应用前景。

**关键词:** 屎肠球菌; 比格犬; 生长发育; 免疫功能; 宏基因组分析

**中图分类号:** S852 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-5130(2025)05-0056-08

## The impact of *Enterococcus faecium* Kimate-X on the growth and development of puppies and the homeostasis of their gut microbiota

ZHANG Rui<sup>1,2</sup>, HU Wanjin<sup>2</sup>, ZHONG Saiwei<sup>2</sup>, CHEN Meiru<sup>2</sup>, YU Qinghua<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Veterinary Medicine, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Laboratory of Microbiology, Immunology and Metabolism, Diprobio (Shanghai) Co., Limited, Shanghai 200050, China)

**Abstract:** This study aimed to investigate the potential effects of *Enterococcus faecium* Kimate-X on the growth and development, hematological parameters, immunological indicators, gut microbiota structure, and metabolic functions in Beagle puppies. A total of 16 two-month-old Beagle puppies were used and randomly divided into the control group and the probiotic group, with eight puppies in each group. The probiotic group received *Enterococcus faecium* Kimate-X supplementation in their basal diet, while the control group was fed with the basal diet alone. Then, a comprehensive assessment was conducted through measurements of body weight, height, and length, as well as hematological, immunological, and metagenomic analyses. The results showed that *Enterococcus faecium* Kimate-X significantly promoted the body weight gain ( $P < 0.01$ ) and body length development ( $P < 0.05$ ) of the puppies. Additionally, it increased the red blood cell count and hemoglobin concentration in their hematological parameters ( $P < 0.05$ ). The blood biochemical analysis of the blood samples revealed that the high-density lipoprotein (HDL) levels were elevated in the *Enterococcus faecium* Kimate-X group ( $P < 0.05$ ). The immunological tests showed that *Enterococcus faecium* Kimate-X enhanced the immunoglobulin G (IgG) levels ( $P < 0.05$ ) in the animals, thereby boosting their immune function. The metagenomic analysis revealed that *Enterococcus faecium* Kimate-X could modulate the gut microbiota composition in the puppies, significantly increasing the abundance of the beneficial bacterium *Ligilactobacillus saerimneri* and effectively reducing the relative abundance of potential pathogens such as *Escherichia coli* in them. The functional annotation analysis further showed that *Enterococcus faecium* Kimate-X could enhance the DNA repair capability of the gut microbiota of the puppies and promote the improvement of their energy

收稿日期: 2024-02-15; 修回日期: 2025-03-16

第一作者: 张瑞, 男, 博士研究生

\* 通信作者: 庾庆华, 博士, 教授, 研究方向为肠道微生物与肠黏膜屏障的相互作用机制, E-mail: qinghua.yu@ diprobio. com.

metabolism functions. In conclusion, *Enterococcus faecium* Kimate-X had significant positive effects on the growth and development and immune function of Beagle puppies and effectively regulated their gut microbiota and metabolic functions, promising good application prospects.

**Keywords:** *Enterococcus faecium*; Beagle dogs; growth and development; immune function; metagenomic analysis

幼年宠物，特别是幼犬在生长发育过程中面临诸多健康挑战。由于免疫系统尚未成熟，幼犬易受病原体侵袭，常出现胃肠功能紊乱、营养吸收不良以及免疫力低下等问题<sup>[1]</sup>。此外，饲养环境变化、断奶应激以及饮食调整等因素，均可能引发肠道菌群失衡，进一步影响消化系统健康和整体生长发育<sup>[2-3]</sup>。因此，优化幼犬的营养管理，调节肠道微生态稳态并增强免疫功能，已成为宠物营养学研究和临床实践中的重要研究方向。

当前，益生菌已被广泛应用于经济动物的饲料添加和健康管理中<sup>[4-6]</sup>。研究显示，不同种类的益生菌可通过调控肠道微生物群落、改善营养物质消化与吸收、增强机体免疫屏障等，从而为畜牧业生产体系带来显著经济与生态效益<sup>[7-8]</sup>。益生菌的应用已然成为经济动物营养与健康管理领域中的一项成熟且被广泛接受的策略。与之相比，在伴侣动物营养学研究中，益生菌的应用相对起步较晚，但近年来亦呈现出快速增长的趋势<sup>[9-10]</sup>。已有研究表明，特定益生菌菌株在犬猫肠道菌群稳态与消化系统功能维护中具有积极意义，为宠物营养与健康管理策略的多样化与精细化应用提供了重要参考<sup>[11-12]</sup>。

在诸多益生菌资源中，屎肠球菌 (*Enterococcus faecium*) 因其益生潜力而备受关注。在经济动物中，屎肠球菌对提高肠道微生态平衡和促进生产性能的作用已屡有报道<sup>[13-15]</sup>。然而，当研究对象转向伴侣动物，尤其是处于快速生长与发育关键期的幼犬时，与此相关的研究数据与证据却仍显不足。目前，鲜有针对特定屎肠球菌菌株对幼犬生长发育、营养代谢和免疫机能改善的系统性研究。这不仅是学术研究中的一个空白领域，同时也为深入探索益生菌在伴侣动物营养管理中所能发挥的实际价值提供了宝贵的契机。

本研究以2月龄幼犬为试验对象，围绕特定的屎肠球菌 Kimate-X 菌株展开研究，探究该益生菌在幼犬肠道微生态调控、营养物质利用率提升、免疫功能改善及整体生长发育促进方面的效果与机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验分组

本试验持续6周，选用16只2月龄健康雄性比格犬（购自仪征市安立卵生物科技有限公司），随机分为对照组和益生菌组，每组8只。对照组饲喂基础饲料，益生菌组在基础饲料中额外添加屎肠球菌

Kimate-X（分离自公安部南京警犬研究所健康警犬的粪便），每只犬每天添加菌量为  $2 \times 10^9$  CFU。试验开始前，记录所有犬的初始体重、体高和体长；于试验结束当周再次测量体重、体高和体长。本研究动物试验已获得南京农业大学动物伦理委员会的批准（批准号：NJAU. NO20231227193）。

### 1.2 样品采集

在试验结束当天，每组犬自然排便后15 min内采集新鲜粪便样品，使用无菌冻存管封装，并迅速转移至 $-80$  °C超低温冰箱中保存。粪便采集完成后，各组犬禁食12 h，通过前肢静脉采集血液样品。每只犬采集1 mL血液至肝素抗凝管中，置于4 °C条件下保存；另采集2 mL血液至真空促凝管中，以  $1\ 500\ r \cdot \min^{-1}$  离心5 min分离血清。分离所得血清迅速转移至无菌冻存管中，并存放于 $-80$  °C条件下保存，以备后续检测。

### 1.3 血常规及血液生化指标测定

血液样品送至南京农业大学动物医院进行血常规及生化指标检测。对血清样品进行总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白、天门冬氨酸氨基转移酶、碱性磷酸酶和葡萄糖含量测定。血液分析仪及检测试剂均购自深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司。

### 1.4 血清免疫学指标检测

参照ELISA试剂盒说明书对犬血清中免疫球蛋白G (IgG)、脂多糖 (LPS)、白介素-1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ ) 和干扰素 $\gamma$  (IFN- $\gamma$ ) 含量进行检测，试剂盒均购自上海酶联生物科技有限公司。

### 1.5 DNA提取与宏基因组测序

使用QIAamp PowerFecal Pro DNA Kit从粪便样本中提取基因组DNA，试剂盒购自上海酶联生物科技有限公司。通过琼脂糖凝胶电泳评估DNA质量，并使用Qubit荧光计测定DNA浓度。文库构建采用NEB Next DNA Library Prep Kit，并在Illumina Novaseq 6000平台上进行测序。原始数据经过质控后，去除宿主DNA序列，并对非宿主序列进行组装。

### 1.6 微生物分类与功能注释

采用MetaPhlan4工具进行微生物分类分析，并利用EggNOG mapper进行功能注释工作。计算 $\alpha$ 多样性 (Shannon指数) 和 $\beta$ 多样性指数 (Simpson指数)，并通过Wilcoxon秩和检验和PERMANOVA评估组间差异。

### 1.7 数据统计与分析

统计分析使用SPSS 26.0软件完成，图表通过

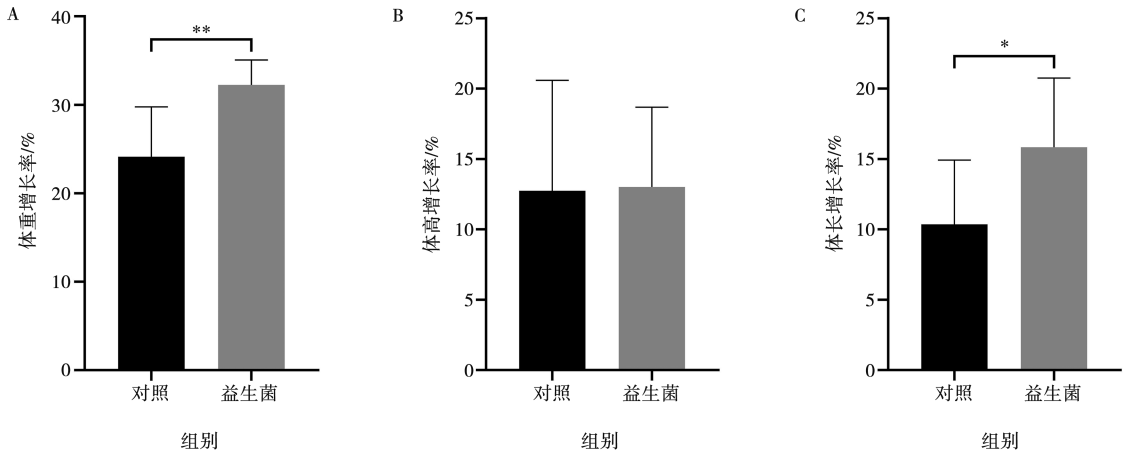
GraphPad Prism 8.0 绘制。组间比较采用 Student's *t* 检验，统计显著性水平设定为  $P < 0.05$ ，结果用“平均值±标准误”表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 Kimate-X 对幼犬生长性能的影响

屎肠球菌 Kimate-X 在试验期间体现了良好的促

生长作用。在试验第 6 周，益生菌组与对照组相比，体重增长率极显著增加 ( $P < 0.01$ ，图 1A)。在体高增长率方面，益生菌组相对对照组无显著性差异 ( $P > 0.05$ )，但平均水平略高于对照组 (图 1B)。在体长增长率方面，益生菌组同样显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ，图 1C)。



\* 表示  $P < 0.05$ ，\*\* 表示  $P < 0.01$ 。下同。

图 1 饲喂屎肠球菌 Kimate-X 对幼犬体重 (A)、体高 (B) 和体长 (C) 增长率的影响

### 2.2 Kimate-X 对幼犬血常规指标的影响

如图 2 所示，益生菌组与对照组在多项血常规指标上存在显著差异。与对照组相比，益生菌组的红细胞平均血红蛋白浓度显著升高 ( $P < 0.05$ ，图 2A)，

红细胞数也显著增加 ( $P < 0.05$ ，图 2B)。此外，益生菌组的红细胞压积显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ，图 2C)，血红蛋白浓度同样显著增加 ( $P < 0.05$ ，图 2D)。

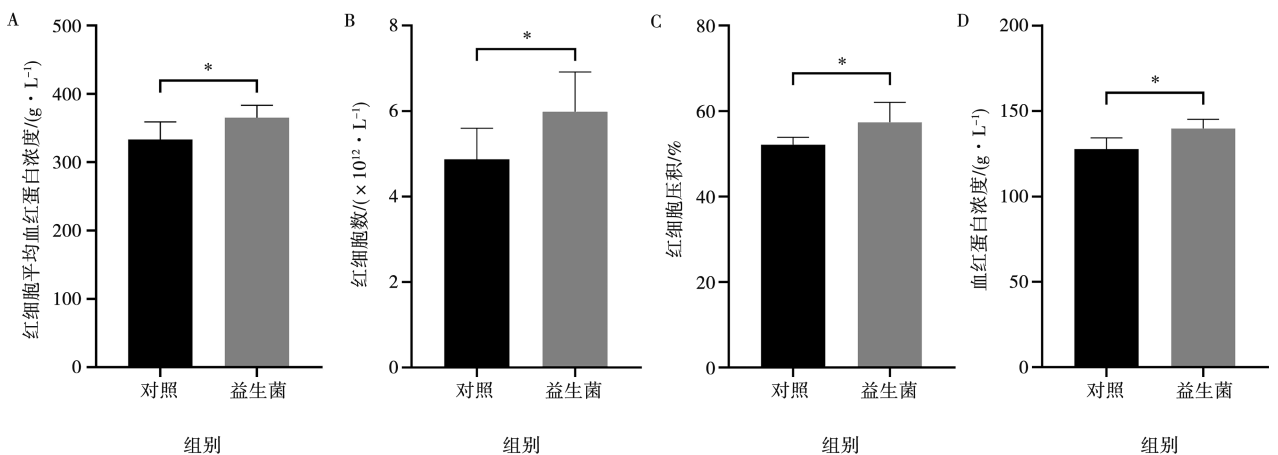


图 2 饲喂屎肠球菌 Kimate-X 对幼犬血常规指标的影响

### 2.3 Kimate-X 对幼犬血液生化指标的影响

研究发现，与对照组相比，益生菌组幼犬血液中总胆固醇 (图 3A) 和甘油三酯浓度 (图 3B) 均显

著高于对照组 ( $P < 0.05$ )，高密度脂蛋白浓度也显著升高 ( $P < 0.05$ ，图 3C)。两组犬的天门冬氨酸氨基转移酶活性无显著差异 ( $P > 0.05$ ，图 3D)。此外，

益生菌组幼犬血液中碱性磷酸酶活性也显著增加 ( $P < 0.05$ , 图 3E), 葡萄糖浓度显著高于对照组 ( $P < 0.05$ , 图 3F), 葡萄糖浓度显著高于对照组

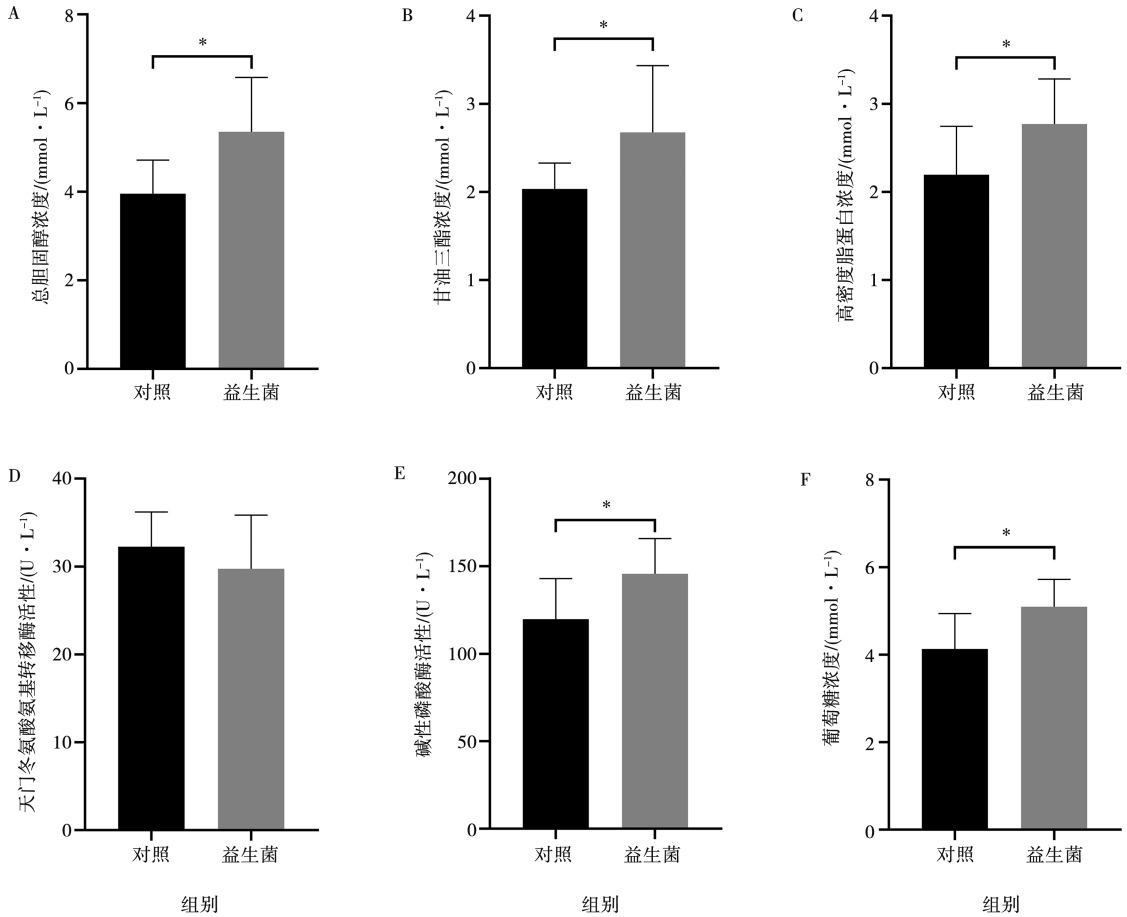


图 3 饲喂屎肠球菌 Kimate-X 对幼犬血液生化指标的影响

### 2.4 Kimate-X 对幼犬免疫学指标的影响

在饲喂屎肠球菌 Kimate-X 后, 观察到对幼犬的免疫功能产生了促进作用。如图 4 所示, 益生菌组的 IgG 水平显著高于对照组 ( $P < 0.05$ , 图 4A), 表明其

对免疫球蛋白的产生具有促进作用。对于 LPS (图 4B)、IL-1 $\beta$  (图 4C) 和 IFN- $\gamma$  (图 4D), 两组之间未观察到显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

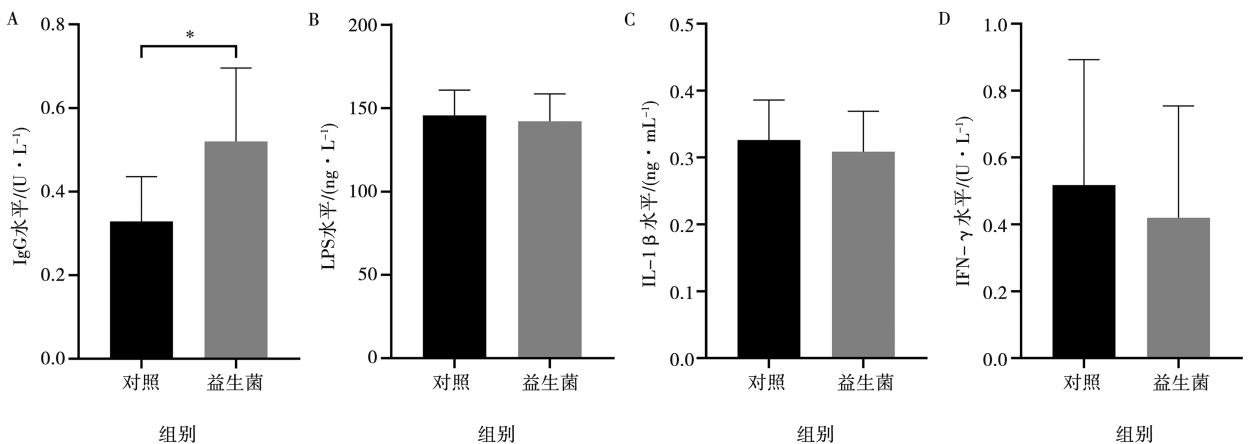
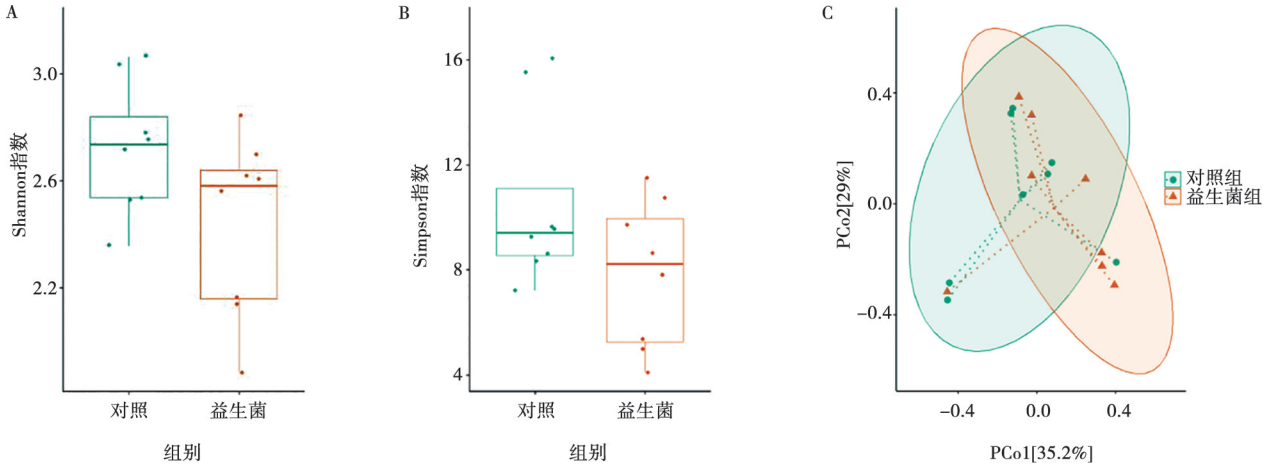


图 4 饲喂屎肠球菌 Kimate-X 对幼犬免疫学指标的影响

### 2.5 幼犬肠道菌群多样性分析

饲喂屎肠球菌 Kimate-X 对幼犬肠道菌群多样性的影响, 见图 5。相较于对照组, 益生菌组的 Shannon 指数 (图 5A) 和 Simpson 指数 (图 5B) 均

呈现轻微下降趋势, 然而这种差异在统计学上并不显著。此外, 基于加权 UniFrac 距离的主坐标分析结果 (图 5C) 显示, 益生菌组与对照组的微生物群落组成存在一定程度的分离 (图 5C)。



A. Shannon 指数; B. Simpson 指数; C. 基于加权 UniFrac 距离的主坐标分析 (PCoA), 椭圆表示 95% 置信区间, 点之间的距离代表菌群组成的差异。

图 5 饲喂屎肠球菌 Kimate-X 幼犬肠道菌群多样性分析

### 2.6 Kimate-X 对幼犬肠道菌群属水平构成的影响

图 6 为犬肠道微生物群线性判别分析 (LDA)。异杆菌属 (*Allobaculum*)、罗姆布茨菌属 (*Romboutsia*) 和棒状杆菌属 (*Corynebacterium*) 在对

照组中富集, 而在益生菌组中相对丰度较低 (图 6A)。相对丰度分析进一步验证了这一结果, 图 6B 显示这 3 种菌属在对照组中的平均丰度显著高于益生菌组。

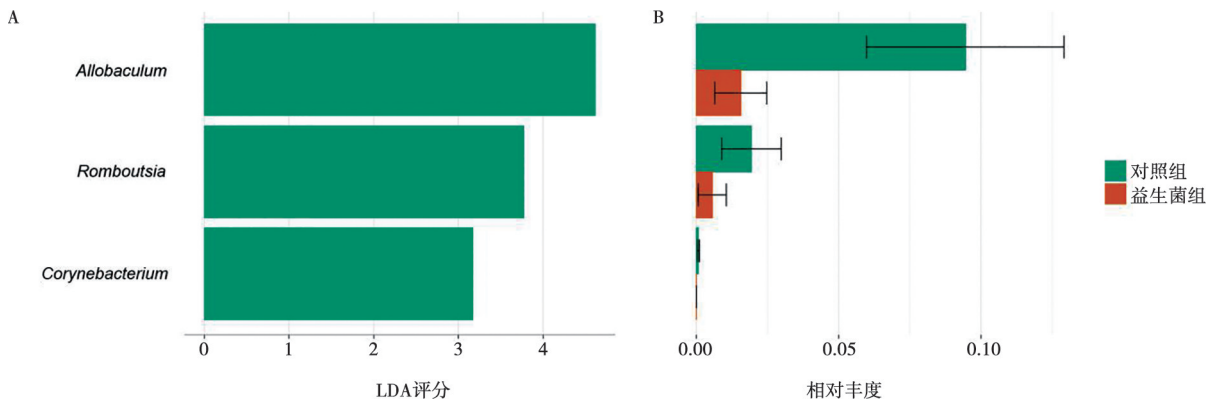


图 6 饲喂屎肠球菌 Kimate-X 幼犬差异菌属的 LDA (A) 及相对丰度 (B) 比较

### 2.7 Kimate-X 对幼犬肠道菌群物种水平构成的影响

两组犬在物种水平上的肠道菌群差异见图 7。LDA 比较结果 (图 7A) 表明, 黏液异杆菌 (*Allobaculum mucolyticum*)、大肠杆菌 (*Escherichia coli*)、罗姆布茨菌蒂莫内亚种 (*Romboutsia timonensis*)、胆汁土杆菌 (*Turicibacter bilis*)、蜜袋鼯乳球菌

(*Lactococcus petauri*) 和烟草鲁夫菌 (*Ruoffia tabacina-salis*) 在对照组中富集, 而联合乳杆菌 (*Ligilactobacillus saerimneri*) 在屎肠球菌 Kimate-X 组中显著富集。相对丰度分析进一步验证了这一趋势, 图 7B 显示屎肠球菌 Kimate-X 组中联合乳杆菌的平均丰度高于对照组, 而其他 6 种菌在对照组中的相对丰度明显更高。

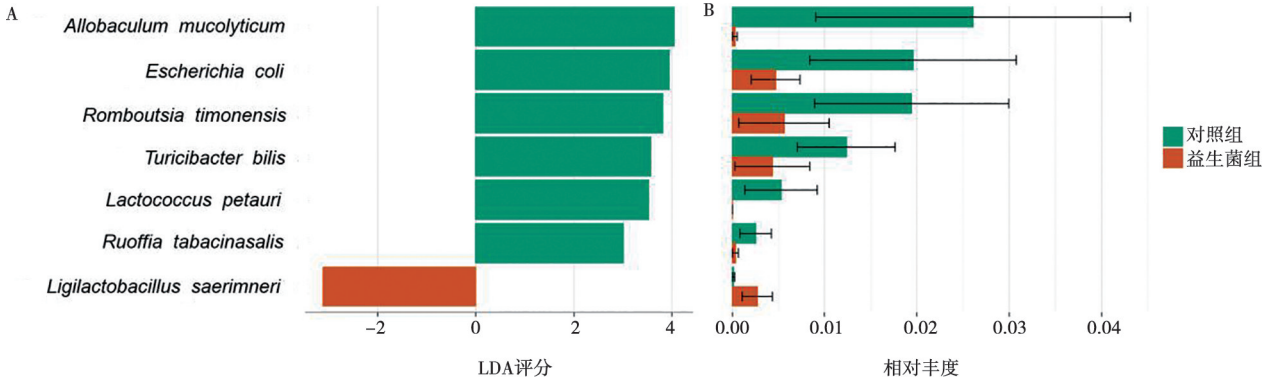


图7 饲喂屎肠球菌 Kimate-X 幼犬差异菌种的 LDA (A) 及相对丰度 (B) 比较

### 2.8 Kimate-X 对幼犬肠道菌群代谢通路的影响

益生菌组与对照组幼犬肠道微生物代谢通路差异见图8。LDA 比较结果 (图 8A) 表明, ABC 转运蛋白 (ABC transporters)、2-氧羧酸代谢 (2-oxocarboxylic acid metabolism) 和氮代谢 (nitrogen metabolism) 在对照组中富集, 而碱基切除修复 (base excision re-

pair)、代谢途径 (metabolic pathways) 和嘌呤代谢 (purine metabolism) 在益生菌组中显著富集。相对丰度分析进一步支持了这一趋势, 图 8B 显示益生菌组在 DNA 修复相关通路 (碱基切除修复) 和核苷酸代谢 (嘌呤代谢) 方面的丰度较高, 而对照组在物质转运 (ABC 转运蛋白) 和氮代谢方面的丰度较高。

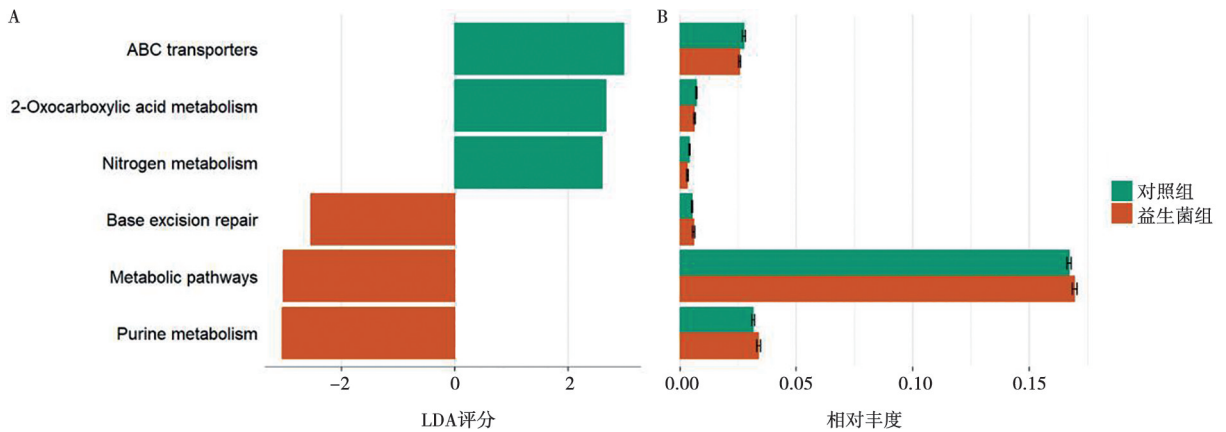


图8 饲喂屎肠球菌 Kimate-X 幼犬肠道菌群代谢通路的 LDA (A) 及相对丰度 (B) 比较

### 3 讨论

本研究系统地评估了屎肠球菌 Kimate-X 通过调节肠道菌群促进幼犬生长发育的作用。结果表明, 屎肠球菌 Kimate-X 通过改善肠道微生态, 不仅显著促进了幼犬的生长发育, 还在血液学、免疫学和代谢功能等方面产生了积极影响, 进一步验证了其作为宠物益生菌的应用潜力。

肠道菌群作为宿主健康的重要调节因子, 其组成和功能直接影响动物的营养吸收、免疫反应和生长发育<sup>[16]</sup>。屎肠球菌 Kimate-X 通过调节肠道菌群的组成, 尤其是增加了有益菌联合乳杆菌的丰度, 可能在促进幼犬的健康生长方面发挥了关键作用。联合乳杆菌作为一种有益菌, 能够通过乳酸发酵维持肠道酸性

环境, 抑制病原菌的生长, 从而为肠道健康提供有力保障<sup>[17]</sup>。此外, 屎肠球菌 Kimate-X 通过降低潜在致病菌大肠杆菌的丰度, 进一步优化肠道微生态, 维持菌群平衡, 为幼犬正常生长发育营造更佳肠道环境。

同时, 屎肠球菌 Kimate-X 在促进幼犬体重、体长和体高增长方面发挥了重要作用。本研究发现, 屎肠球菌 Kimate-X 显著促进了幼犬体重和体长的增长, 这与屎肠球菌在畜禽动物中的研究一致<sup>[18-19]</sup>, 进一步表明该菌株通过增强营养物质的吸收来促进生长。尽管体高的增长未显示显著差异, 但益生菌组的体高仍高于对照组, 提示该菌株可能对骨骼发育产生潜在影响, 尤其是在长期饲喂条件下, 可能对幼犬的骨骼发育产生更加显著的促进作用<sup>[20]</sup>。

在血液学指标方面, 屎肠球菌 Kimate-X 通过改

善红细胞相关指标, 增强了幼犬的血液携氧能力<sup>[21]</sup>。这些变化表明, 屎肠球菌 Kimate-X 可能通过改善肠道菌群, 进而提高关键营养素的吸收, 从而促进红细胞生成和功能, 满足幼犬在生长发育阶段对高代谢的需求。此外, 益生菌组的高密度脂蛋白水平升高, 表明其可能有助于脂质代谢调节, 增强胆固醇的逆向转运, 进而改善心血管健康<sup>[22]</sup>。同时, 碱性磷酸酶的增加反映出骨骼生长和矿化的增强, 符合幼犬快速生长阶段的代谢需求<sup>[23-25]</sup>。葡萄糖水平的升高可能与能量代谢的优化有关, 说明屎肠球菌 Kimate-X 可能通过促进糖类吸收和利用, 为机体提供更充足的能量支持生长和日常活动。

在本研究中, 尽管益生菌组的总胆固醇和甘油三酯浓度显著高于对照组, 但其水平仍处于正常范围内, 提示屎肠球菌 Kimate-X 可优化脂质代谢和提高能量利用效率, 而非导致代谢失衡<sup>[26-27]</sup>。这一现象可能与其调节肠道菌群、影响胆汁酸代谢及促进短链脂肪酸生成等机制密切相关<sup>[28-30]</sup>。肝功能和炎症指标的结果进一步验证了屎肠球菌 Kimate-X 对幼犬脂质代谢的正向调节作用。在病理状态下, 胆固醇和甘油三酯浓度的升高通常会导致肝脏功能异常以及炎症指标的改变<sup>[31-32]</sup>。本研究发现, 益生菌组的天门冬氨酸氨基转移酶和 IL-1 $\beta$  水平未见异常, 且 IFN- $\gamma$  指标也未出现显著波动。这表明, 尽管益生菌组的血清脂质浓度有所上升, 但并未引发明显的炎症反应或肝脏功能损伤, 进一步支持屎肠球菌 Kimate-X 通过优化脂质代谢, 满足幼犬生长发育过程中对能量的高需求。

免疫功能的提高同样是屎肠球菌 Kimate-X 通过调节肠道菌群发挥的积极作用之一。研究结果表明, 益生菌组幼犬的 IgG 水平显著高于对照组, 提示该菌株可能通过改善肠道菌群的组成, 增强幼犬的免疫反应。IgG 作为体液免疫反应的重要组成部分, 其水平的升高直接表明幼犬的免疫系统得到了有效增强, 这对于幼犬在成长过程中抵御外来病原的侵袭至关重要<sup>[33]</sup>。

在肠道菌群功能方面, 屎肠球菌 Kimate-X 还可能通过增强肠道菌群的 DNA 修复和能量代谢等通路, 进一步支持幼犬的健康发展。功能注释分析表明, 益生菌组的碱基切除修复和嘌呤代谢通路的富集程度较高, 提示该菌株可能通过支持肠道菌群的 DNA 修复和提高能量代谢, 促进幼犬的整体健康<sup>[34]</sup>。减少 ABC 转运蛋白的丰度则可能表明屎肠球菌 Kimate-X 降低了外源物质在肠道中的转运, 有助于减少炎症反应, 从而进一步保障幼犬的肠道健康<sup>[35]</sup>。

综上所述, 本研究表明屎肠球菌 Kimate-X 可能

通过调节肠道菌群, 增加有益菌的丰度、减少致病菌的数量、改善营养吸收、提高免疫功能等多重机制, 影响幼犬的生长和发育。本研究结果为该菌株在宠物益生菌市场的应用提供了有力支持, 也为未来伴侣动物健康管理提供了新思路。

## 参考文献:

- [1] 贾球锋, 白喜云. 浅谈幼犬的营养与免疫力 [J]. 中国畜禽种业, 2021, 17 (12): 157-158.
- [2] DAVENPORT E R, SANDERS J G, SONG S J, et al. The human microbiome in evolution [J]. BMC Biology, 2017, 15 (1): 127.
- [3] BIAGIOLI V, VOLPEDO G, RIVA A, et al. From birth to weaning: a window of opportunity for microbiota [J]. Nutrients, 2024, 16 (2): 272.
- [4] 于鲁敏, 王晓哲, 徐立楠, 等. 贝莱斯芽孢杆菌 Y01 的生物学特性及其对肉鸡生长性能的影响 [J]. 饲料研究, 2025 (1): 143-149.
- [5] YIN H, WANG C, SHUAI Y, et al. Pig-derived probiotic *Bacillus tequilensis* YB-2 alleviates intestinal inflammation and intestinal barrier damage in colitis mice by suppressing the TLR4/NF- $\kappa$ B signaling pathway [J]. Animals, 2024, 14 (13): 1989.
- [6] KHAN S, MOORE J R, STANLEY D, et al. The gut microbiota of laying hens and its manipulation with prebiotics and probiotics to enhance gut health and food safety [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2020, 86 (13): e00600-20.
- [7] 牛进, 李平. 复合益生菌对育肥牛生长性能、肠道菌群及经济效益的影响 [J]. 中国饲料, 2024 (22): 25-28.
- [8] 许添瑞, 张千, 闫广谋, 等. 益生菌对动物健康的影响及其在养猪中的应用 [J]. 现代畜牧兽医, 2024 (11): 92-96.
- [9] ZHA M, ZHU S, CHEN Y. Probiotics and cat health: a review of progress and prospects [J]. Microorganisms, 2024, 12 (6): 1080.
- [10] YANG Q, WU Z. Gut probiotics and health of dogs and cats: benefits, applications, and underlying mechanisms [J]. Microorganisms, 2023, 11 (10): 2452.
- [11] 李虹晔, 王春风, 杨桂连. 益生菌在维护宠物健康及疾病防治中的应用及作用研究进展 [J]. 吉林农业大学学报, 2023, 45 (5): 513-522.
- [12] 赵梦迪, 李光玉, 刘可园, 等. 饲料和益生菌对犬、猫肠道菌群影响的研究进展 [J]. 动物营养学报, 2022, 34 (11): 6817-6829.
- [13] 赵芹, 李爱科, 乔琳, 等. 饲料中添加包衣屎肠球菌对异育银鲫生长性能和肌肉品质的影响 [J]. 动物营养学报, 2024, 36 (10): 6611-6619.
- [14] ALEXANDER S, SHUANGZHI Z, GALINA L, et al. Evaluation of the efficacy of *Enterococcus faecium* L3 as a feed probiotic additive in chicken [J]. Probiotics and Antimicrobial Proteins, 2022, 15 (5): 1169-1179.
- [15] 张立恒, 史洪涛, 乔宏兴, 等. 日粮添加屎肠球菌对肉仔鸡生长性能、抗氧化及免疫能力的影响 [J]. 饲料研究, 2020, 43 (5): 40-44.

- [16] 刘明君, 潘鹏丞, 徐文文, 等. 不同生长速度猪肠道的形态结构、短链脂肪酸及菌群的分析 [J]. 饲料研究, 2024, 47 (13): 88-93.
- [17] SABA M, HEBATOALLAH H, ALI G E, et al. A two bacteriocinogenic *Ligilactobacillus* strain association inhibits growth, adhesion, and invasion of *Salmonella* in a simulated chicken gut environment [J]. Probiotics and Antimicrobial Proteins, 2023, 16 (6): 2021-2038.
- [18] 焦宇洲, 杨欢欢, 卢垚, 等. 屎肠球菌对感染柔嫩艾美耳球虫肉鸡生长性能和肠道屏障的影响 [J]. 畜牧兽医学报, 2022, 53 (4): 1210-1219.
- [19] RUIXIA L, INHO K. *Enterococcus faecium* supplementation in sows during gestation and lactation improves the performance of sucking piglets [J]. Veterinary Medicine and Science, 2020, 6 (1): 92-99.
- [20] 程占军, 万宁, 高明军, 等. 运动对21~50日龄德国牧羊犬幼犬体重体尺的影响 [J]. 中国工作犬业, 2024 (7): 44-47.
- [21] DWI F A, SUGIHARTO S, TURRINI Y, et al. Growth performance, blood variables, intestinal bacterial content, and morphological measurements of broilers supplemented with *Lactobacillus casei*-fermented mixture of red rice and aromatic ginger [J]. Veterinary World, 2022, 15 (4): 818-826.
- [22] 罗升, 魏晓娟. MLR、NHR 在心血管疾病中的研究进展 [J]. 中国医学创新, 2024, 21 (36): 166-170.
- [23] 钟萍, 李宗年, 肖厚兰, 等. 不同喂养模式对低出生体质量早产儿骨密度和骨碱性磷酸酶的影响 [J]. 中国医药科学, 2020, 10 (14): 98-101.
- [24] CHINTAMANIBATLA R R, MEHTA P, KAMARTHI S, et al. Serum calcium, alkaline phosphatase as risk factors for bone metabolism in Alzheimer's disease [J]. Alzheimer's & Dementia, 2025, 20 (S2): e093518-e093518.
- [25] XU Y, SONG L, ZHOU L. The association of vitamin D insufficiency with the prevalence of obesity in children; implications for serum calcium levels, alkaline phosphatase activity, and bone maturation [J]. Frontiers in Nutrition, 2024, 11: 1466270.
- [26] 杨宇国. 犬高脂血症的发生和诊治 [J]. 现代畜牧科技, 2016 (3): 123.
- [27] 姜西迪, 阮崇美, 刘灿, 等. 去势术对雄性中华田园犬脂代谢的影响 [J]. 畜牧与饲料科学, 2021, 42 (6): 112-114.
- [28] 王妮, 车思艳, 王悦, 等. 鞣花酸对断奶仔猪肠道微生物和脂质代谢的影响 [J]. 饲料工业, 2025, 46 (1): 11-17.
- [29] WANG J, GUO L, HAO X, et al. Nontargeted metabolomics combining with intestinal microbiota and hypolipidemia targets elucidates anti-hyperlipidemia effect of Sangju Yinzha tea in hyperlipidemia rats [J]. Food Bioscience, 2025 (1): 106012.
- [30] ZHANG S, YOU M, SHEN Y, et al. Improving fatty liver hemorrhagic syndrome in laying hens through gut microbiota and oxylipin metabolism by *Bacteroides fragilis*: a potential involvement of arachidonic acid [J]. Animal Nutrition, 2024, 20: 182-199.
- [31] 贾建国, 马向明, 田菲, 等. 甘油三酯与高密度脂蛋白胆固醇比值(TG/HDL-C)对原发性肝癌发病的影响 [J]. 临床肝胆病杂志, 2024, 40 (4): 753-759.
- [32] 李越, 吴希泽, 潘嘉祥, 等. 肝细胞脂肪变性影响巨噬细胞炎症反应加速动脉粥样硬化形成 [J]. 浙江大学学报(医学版), 2023, 52 (6): 751-765.
- [33] CORTES-PEREZ N G, DE MORENO DE LEBLANC A, GOMEZ-GUTIERREZ J G, et al. Probiotics and trained immunity [J]. Biomolecules, 2021, 11 (10): 1402.
- [34] 何宇臻, 王辉, 方家豪, 等. ABC 转运蛋白家族介导的中药-化药相互作用研究进展 [J]. 药学学报, 2021, 56 (7): 1778-1788.
- [35] 周雅倩, 刘晓东. 疾病状态下血脑屏障 ATP 结合盒转运体功能与表达改变及其临床意义 [J]. 药学进展, 2018, 42 (8): 574-580.