

狄氏副拟杆菌F4对断奶前母犊生长性能和 消化代谢的影响

郑为君^{1, 2}, 冯肖然², 马俊南², 原昊², 屠焰^{2*}, 鲁琳¹

(1.北京农学院动物科学技术学院, 北京 102206; 2 中国农业科学院饲料研究所, 农业农村部饲料生物技术重点开放实验室, 北京 100081)

摘要: [目的] 研究日粮中添加不同浓度的狄氏副拟杆菌F4菌液对断奶前母犊生长性能、体尺指标和消化代谢的影响。[方法] 选取36头3~6日龄健康荷斯坦母犊, 随机分成3组: 对照组(CON)灌服20 mL生理盐水; 低剂量组(PDL)每日 2×10^9 CFU的F4菌液; 高剂量组(PDH)每日 2×10^{10} CFU的F4菌液; 在每日晨饲前灌服饲喂。试验持续70天, 在35天和70天时测定母犊的生长性能和体尺指标, 并在断奶前一周进行消化代谢试验。[结果]与CON相比, 试验组平均日采食量和日增重无显著性差异, 但在数值上PDL和PDH均高于CON。体尺指标方面, 各个指标无显著性差异但数值上试验组均有增加。消化代谢试验显示, 营养物质表观消化率等指标各组间未见统计学差异, 数值上干物质、粗脂肪和中性洗涤纤维的表观消化率试验组均高于CON。[结论] 狄氏副拟杆菌F4改善哺乳期荷斯坦母犊营养消化吸收, 促进其生长的优势, 本研究为狄氏副拟杆菌F4在幼龄反刍动物中的应用提供了初步参考。

关键词: 狄氏副拟杆菌F4; 荷斯坦母犊; 生长性能; 体尺; 消化代谢

文章编号: 1671-4393 (2026) 03-0025-08

DOI:10.12377/1671-4393.26.03.04

Effects of *Parabacteroides distasonis* F4 on Growth Performance and Digestive Metabolism in Pre-weaning Holstein Heifer Calves

ZHENG Weijun^{1, 2}, FENG Xiaoran², MA Junnan², YUAN Hao², TU Yan^{2*}, LU Lin¹
(1.College of Animal Science and Technology, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206;
2.Institute of Feed Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of feed Biotechnology, Ministry of Agriculture, Beijing 100081)

基金项目: 家畜产业技术体系北京市创新团队 (BAIC05)

作者简介: 郑为君 (2001-), 女, 山东德州人, 硕士, 研究方向为反刍动物营养;

冯肖然 (2001-), 女, 河北保定人, 博士, 研究方向为反刍动物瘤胃微生物调控;

马俊南 (1990-), 女, 河南周口人, 博士, 研究方向为反刍动物生理营养;

原昊 (2001-), 男, 河南新乡人, 硕士, 研究方向为反刍动物营养;

鲁琳 (1969-), 男, 山东郯城人, 博士, 教授, 研究方向为动物健康养殖与环境控制。

通信作者: 屠焰 (1969-), 女, 浙江嘉善人, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为反刍动物营养与饲料科学。

Abstract: [Objective] To investigate the effects of dietary supplementation with different concentrations of *Parabacteroides distasonis* F4 on growth performance, body measurements, and digestive metabolism in pre-weaning Holstein heifer calves. [Method] Thirty-six healthy Holstein heifer calves aged 3~6 days were randomly divided into three groups: control group (CON) administered 20 mL of saline daily; low-dose group (PDL) administered 2×10^9 CFU of F4 bacterial solution daily; high-dose group (PDH) administered 2×10^{10} CFU of F4 bacterial solution daily. All treatments were administered before morning feeding. The experiment lasted 70 days, with growth performance and body size indicators of the calves measured at 35 and 70 days, and digestive and metabolic experiments conducted one week before weaning. [Result] Compared with CON, no significant differences were observed in dry matter intake (DMI) and average daily gain (ADG) in the treatment groups, although numerically, both PDL and PDH showed higher values than CON. For body measurements, no significant differences were detected in any indicators, but numerical increases were noted in the treatment groups. The digestion and metabolism trial revealed no significant differences in apparent digestibility of nutrients among groups; however, numerically, the apparent digestibility of dry matter (DM), ether extract (EE), and neutral detergent fiber (NDF) was higher in the treatment groups than in CON. [Conclusion] *Parabacteroides distasonis* F4 may improve nutrient digestion and absorption in suckling Holstein heifer calves, thereby promoting growth. This study provided a preliminary reference for the application of microbial agents in young ruminants.

Keywords: *Parabacteroides distasonis* F4 ; Holstein heifer calves; growth performance; body measurements; digestive metabolism

奶业是食品安全的代表性产业，充足的、高品质的牛奶供应关系着民族整体的品质和健康。近20年来，随着法规标准体系的逐步完善、高新繁育装备的逐步突破、精准饲喂技术的逐步普及，我国牛奶产量实现水平跨越。但成本压力是养殖业一直存在的挑战，一是奶牛生长周期长，从育种到产奶的漫长周期中存在育种、饲料和兽药等养殖成本的多重压力；二是抗生素的滥用和过度使用对人、动物和环境都存在危害^[1]。因此寻找促进生长健康的替抗产品成为畜牧行业的重要研究方向，其中微生态制剂受到广泛关注，如乳酸菌、芽孢杆菌、双歧杆菌和酵母菌等。

荷斯坦母犊哺乳期的营养调控对其终身的生产性能具有决定性影响，哺乳期间的科学调控可以提升其生长性能、免疫功能和后续产奶潜能，进而决定成年后的生产价值^[2]。微生态制剂的应用可以改善犊牛肠道菌群，稳定肠道微生物平衡，增

加有益菌丰度，降低犊牛腹泻率^[3]，加速新生犊牛免疫系统的构建，提高生产性能^[4]。狄氏副拟杆菌 (*Parabacteroides distasonis*) 是一种革兰氏阴性、严格厌氧的杆状细菌。目前狄氏副拟杆菌的研究尚集中在人类和小鼠上。王佳等^[5]将狄氏副拟杆菌应用于被产肠毒素大肠杆菌感染的小鼠，发现狄氏副拟杆菌能够缓解肠道炎症，保护肠道组织，改善病理性腹泻；在人类疾病的研究中发现，狄氏副拟杆菌可以通过产生琥珀酸和次级胆汁酸调节宿主代谢，缓解肥胖和代谢功能障碍^[6]，减轻肝纤维化^[7]等。但现有相关数据集中于人类和小鼠疾病模型，在反刍动物（如犊牛）肠道环境中的作用尚未明确，缺乏畜牧应用数据。本课题组前期从健康犊牛瘤胃内容物中分离得到一株狄氏副拟杆菌，经16S rRNA测序鉴定为*Parabacteroides distasonis*，命名为F4^[8]，本文将通过饲养试验验证其对哺乳期母犊生长性能和消化代谢的影响。

1 材料与方法

1.1 试验设计及饲养管理

本试验于2024年4—7月在河北省唐山市滦县首农新绿洲现代牧场进行。试验采用单因素随机设计，选取新生荷斯坦母犊牛36头，整个试验期所有犊牛单栏饲养。以试验开始日（出生日）记为0天，试验共70天。母犊随机分为3组，依次为对照组（CON）、高剂量组（PDH）、低剂量组（PDL）。每组12个重复且各组间初始体重差异不显著。牛奶于每天08:00和15:00饲喂2次，具体剂量

表 1 犊牛日粮组成及营养水平（%DM 基础）

成分	日粮	
	开食料	牛奶
玉米	23.94	—
豆粕	21.54	—
菜粕	6.00	—
麸皮	4.00	—
面粉	5.00	—
干酒糟及其可溶物	8.00	—
喷浆玉米皮	1.42	—
大豆皮颗粒	1.00	—
膨化大豆	8.00	—
压片玉米	5.00	—
甘蔗糖蜜	2.00	—
克霉	0.10	—
乳清粉	10.00	—
预混料 ¹	4.00	—
营养水平（%，干物质基础）		
总能（MJ/kg）	17.13	—
干物质（鲜重基础）%	95.89	11.70
粗蛋白质	24.26	28.80
粗脂肪	4.91	36.75
中性洗涤纤维	21.61	—
酸性洗涤纤维	13.93	—
粗灰分	7.75	—
钙	1.36	1.10
磷	0.59	0.91

注：¹预混料为每 kg 日粮提供：VA 12 000 IU，VD 2 200 IU，VE 20 mg，Fe 60 mg，Cu 12.5 mg，Mn 50 mg，Zn 24 mg，Se 0.3 mg，I 1.0 mg，Co 0.3 mg；牛奶为市售全脂牛奶，营养成分为实测值

为第2~7日龄7 L/d，第8~34日龄9 L/d；第35~56日龄12 L/d；第57~63 日龄8 L/d；从64到70 日龄逐渐断奶，牛奶每天只提供1次，为4 L/d。犊牛自3 日龄起自由采食开食料，开食料配方及营养水平如表1，期间保证自由采食和充足饮水。

每日晨饲前，对试验组（PDH、PDL）犊牛灌服不同剂量的本次试验菌株F4的菌液，菌液源于中国农业科学院饲料研究所反刍动物营养与饲料创新团队自主筛选并培养。

试验安排具体如下。CON：每日灌服生理盐水20 mL/头；PDL：每日灌服20 mL 10⁸ CFU/mL 的F4菌液。PDH：每日灌服20 mL 10⁹ CFU/mL 的F4菌液。

1.2 试验指标测定

1.2.1 生长性能测定

试验开始后，每天准确记录各组犊牛投料及剩料量，并分别在试验35和70 日龄晨饲前空腹测定犊牛体重、体高、体斜长、胸和腹围。考虑主观因素影响，测量全程为同一人完成，计算干物质日采食量，平均日增重及料重比。计算公式：料重比（%）=平均日采食量/平均日增重×100%；体高：犊牛正位站立，从髻甲最高点到地面的垂直距离；体斜：肩关节的前端到坐骨端的距离；胸围：肩胛骨后角处体躯的垂直周径；腹围：测量犊牛腹部至背部周长的最大围度。

1.2.2 各成分消化代谢测定

在饲喂试验结束前1 周开展消化代谢试验，采用全收粪尿法。本试验每组选用3 头健康犊牛进行代谢试验，样本量设计主要基于消化代谢笼数量限制及动物伦理审查要求。每组选择3 头体重接近本组平均值的母犊，置入代谢笼中，为期7 天，前3 天为预饲期，后4 天为正试期。试验期间详细记录每头牛每日的实际采食量、排粪量和排尿量。每日收集每头犊牛饲料样品，以及粪样200 g、尿样100 mL，分别加入50 mL、10 mL的10%浓度的H₂SO₄用于固氮，所有样品-20 ℃冷冻保存待测。测样前将每头牛收集的粪样混合均匀后在65 ℃下烘48 h确保风干。测定饲料

样、粪样初水分并粉碎用40 目筛网过滤后完成样品营养成分测定。

饲料开食料和粪样的干物质、粗蛋白、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维参考张丽英^[9]的方法测定。粗蛋白质含量用KDY9830全自动凯氏定氮仪测定；粗脂肪采用ANKOM-XTI5i全自动脂肪仪测定；总能采用PARR-6400全自动氧弹量热量仪测定。中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维采用滤袋技术（FBI）ANKOM2000纤维分析仪测定；灰分用灼烧法，将样品在550 ℃马弗炉灼烧4 h，并将干燥皿冷却30 min后称重；干物质测定将样品在105 ℃烘箱内烘 48 h至恒重。

干物质表观消化率（%）=（干物质摄入量-粪中干物质排出量）/干物质摄入量×100%

同理计算粗蛋白、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率。

代谢体重= $W^{0.75}$ ，W为体重

消化能=摄入总能-粪能

代谢能=消化能-尿能

总能表观消化率=消化能/摄入总能

消化氮=摄入氮-粪氮

沉积氮=摄入氮-粪氮-尿氮

氮沉积率（%）=（沉积氮/摄入氮）×100%

氮表观消化率（%）=（消化氮/摄入氮）×100%

1.3 数据统计分析

采用Excel进行原始数据的统计和整理，使用R软件（version 4.3.3）进行单因素方差分析（ANOVA），采用Duncan's法进行多重比较。结果以平均值和标准误表示， $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果及分析

2.1 狄氏副拟杆菌 F4 对母犊生长性能的影响

由表2可知，体重在各个阶段差异都不显著（ $P>0.05$ ），但是在70 日龄时，PDH和PDL在数值上高于CON；干物质采食量和平均日增重无显著性差异，但在数值上PDH和PDL高于CON，其中35~70 日龄时平均日增重PDH和PDL分别高出CON13.6%和9.9%；料重比在各个阶段均无显著改善，但数值上PDH和PDL的后期料重比低于CON。

2.2 狄氏副拟杆菌 F4 对母犊体尺的影响

由表3可知，体尺在各个阶段差异都不显著

表 2 狄氏副拟杆菌 F4 对母犊生长性能的影响
Table 2 Effects of *Parabacteroides distasonis* F4 on Growth Performance of Female Calves

项目	日龄（d）	组别			SEM	P 值
		CON	PDL	PDH		
体重（kg）	0	39.92	40.96	41.01	1.020	0.891
	35	73.58	74.29	74.50	1.142	0.946
	70	101.92	105.29	106.83	1.113	0.185
干物质采食量（kg/d）	0~35	1.06	1.08	1.07	0.006	0.624
	36~70	1.50	1.58	1.53	0.036	0.648
	0~70	1.28	1.33	1.30	0.019	0.593
平均日增重（kg/d）	0~35	0.96	0.95	0.96	0.025	0.989
	36~70	0.81	0.89	0.92	0.028	0.238
	0~70	0.89	0.92	0.94	0.016	0.376
料重比	0~35	1.14	1.15	1.15	0.031	0.985
	36~70	1.94	1.82	1.70	0.066	0.334
	0~70	1.47	1.45	1.38	0.020	0.402

表 3 狄氏副拟杆菌 F4 对母犊体尺的影响
Table 3 Effects of *Parabacteroides distasonis* F4 on Body Size of Female Calves

单位: cm
Unit:cm

项目	日龄 (d)	组别			SEM	P 值
		CON	PDL	PDH		
体斜长	0	74.75	75.67	75.83	0.720	0.812
	35	83.17	84.92	86.33	0.812	0.288
	70	97.44	100.33	99.11	0.824	0.371
体高	0	79.58	81.67	80.25	0.692	0.467
	35	84.75	85.83	85.58	0.472	0.631
	70	95.11	97.44	95.33	0.635	0.262
胸围	0	88.33	86.83	86.75	1.005	0.779
	35	98.08	99.17	100.83	0.707	0.286
	70	110.11	110.89	112.44	0.771	0.471
腹围	0	93.83	91.83	93.42	1.293	0.810
	35	103.75	104.58	106.33	0.879	0.485
	70	117.78	118.44	122.33	1.225	0.270

($P>0.05$)，但是在中期和后期，PDH和PDL在数值上高于CON。PDH的体高、胸围和腹围都有增加。70 日龄时，PDH和PDL体斜长指标分别比CON高1.7%和2.9%。

2.3 狄氏副拟杆菌 F4 对母犊消化代谢的影响

根据表4数据显示，各试验组间的各项消化代谢指标均无统计学显著差异 ($P>0.05$)。在数值上，PDH和PDL在干物质、有机物及粗脂肪的表观消化率上略高于CON；其中纤维表观消化率的数值提升较为明显，PDH和PDL的中性洗涤纤维（58.65%~59.38%）和酸性洗涤纤维表观消化率（51.88%~55.24%）均高于CON（49.12%，48.33%）。能量代谢方面，PDH和PDL的总能表观消化率及总能代谢率数值上也略优于CON。相比之下，PDH和PDL的氮消化率和氮沉积率在数值上均略低于CON。

3 讨论

3.1 狄氏副拟杆菌 F4 对哺乳期母犊生长性能的影响

犊牛断奶期的平均日增重是奶牛育种与选种的核心指标之一，其水平不仅直接关联犊牛阶段的生长发育质量，还会对成年后的泌乳性能产生深远影

响^[10]。因此研究人员对哺乳期犊牛营养调控方面做出了诸多努力。微生态制剂作为替代抗生素的优势因子，具有调节肠道平衡、强化免疫系统、优化生长效率的作用^[11, 12]。目前，我国已将多种益生菌纳入到饲料添加剂目录中，并逐渐应用到畜牧业生产中。本研究发现，不同剂量F4菌剂的添加对母犊的生长性能具有一定的积极影响，并且在哺乳后期影响较前期明显，断奶末期体重和料重比上出现优势，后期处理组的日增重均在一定程度上高于对照组。幼龄反刍动物瘤胃发育尚不健全，在生命早期瘤胃内成熟的微生物区系尚未形成，微生物定植不仅受环境因素的影响，还可以通过益生菌、益生元等干预措施改变微生物组成，促进有益菌群的扩增和生态稳定，从而参与和调控微生物区系的早期建立和成熟^[13, 14]。这种干预在关键的发育窗口期对微生物群落结构的塑造具有重要意义^[15]，并可能影响宿主健康的长期结果使其在哺乳后期以及断奶后展现出更好的生长趋势。

同时，本试验结果发现PDH在某些指标上表现出更明显的数值优势，说明益生菌的剂量同样影响益生菌对犊牛生长性能的作用大小。这一现象提示

表 4 狄氏副拟杆菌 F4 对母犊消化代谢的影响
Table 4 Effects of *Parabacteroides distasonis* F4 on Digestion and Metabolism of Female Calves

项目	组别			SEM	P 值
	CON	PDL	PDH		
干物质表观消化率 (%)	90.63	93.12	92.43	0.750	0.430
粗蛋白质表观消化率 (%)	93.60	92.54	91.62	0.800	0.664
粗脂肪表观消化率 (%)	95.65	97.37	96.54	0.480	0.314
中性洗涤纤维表观消化率 (%)	49.12	58.65	59.38	4.994	0.706
酸性洗涤纤维表观消化率 (%)	48.33	51.88	55.24	6.213	0.925
有机物表观消化率 (%)	93.78	95.70	94.96	0.432	0.199
代谢体重 (kg)	32.92	33.19	33.50	0.226	0.635
总能 (MJ/kgW ^{0.75} /d)	1.31	1.20	1.21	0.057	0.792
粪能 (MJ/kgW ^{0.75} /d)	0.09	0.07	0.06	0.012	0.635
尿能 (MJ/kgW ^{0.75} /d)	0.16	0.12	0.15	0.009	0.323
消化能 (MJ/kgW ^{0.75} /d)	1.21	1.13	1.15	0.054	0.877
代谢能 (MJ/kgW ^{0.75} /d)	1.06	1.01	1.00	0.056	0.937
总能表观消化率 (%)	92.88	94.45	95.04	0.901	0.708
总能代谢率 (%)	80.97	84.00	82.42	1.477	0.797
消化能代谢率 (%)	87.13	88.93	86.71	1.044	0.756
摄入总氮 (g/kgW ^{0.75} /d)	1.50	1.25	1.27	0.094	0.543
粪氮 (g/kgW ^{0.75} /d)	0.17	0.17	0.19	0.019	0.882
尿氮 (g/kgW ^{0.75} /d)	0.39	0.38	0.39	0.021	0.976
氮消化率 (%)	88.91	85.88	85.01	1.525	0.614
氮沉积率 (%)	62.84	52.84	52.97	3.748	0.521

注：W^{0.75}为代谢体重

益生菌对宿主生长性能的促进可能具有明显的剂量依赖效应，即在一定范围内剂量增加伴随更明显的正效应。孟竞尧^[4]同样用试验证实了这一点，通过给 4 月龄荷斯坦犊牛饲喂不同剂量的复合益生菌（地衣芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌和米曲霉菌），结果表明饲喂3 g益生菌/kg日粮的犊牛组可显著提高犊牛日增重和饲料转化效率。另外有研究发现，随着新生犊牛益生菌混合制剂饲喂剂量的升高（0、2、4、6 g/d），犊牛的平均日增重和总干物质采食量呈线性增加趋势，而较高剂量组也表现出较低的腹泻率和更稳定的肠道菌群结构^[16]。因此，益生菌能有效提高犊牛的平均日增重和体重，但其效应大小受到补充剂量及补充方法等因素的影响^[17]，使用过程中也需要关注剂量带来的影响，以充分发挥益生菌的作用，更好地促进宿主生长发育。本研究的样本量相对较小（n=36），这可能限制统计结果的稳健

性。具体而言，较小的样本量会降低统计功效，增加二类错误（即假阴性）的风险，导致实际存在的组间差异可能未被检测到。尽管观察到35~70 日龄时平均日增重PDH和PDL分别高出CON13.6%和9.9%，但统计不显著的结果（*P*=0.238）需谨慎解读。建议未来研究通过扩大样本量或延长试验周期，以提升检验敏感度，验证这些潜在关联。

3.2 狄氏副拟杆菌 F4 对哺乳期母犊体尺指标的影响

优良的体型框架是动物后期高产的物质基础，早期体尺发育的提高有利于未来母牛生产性能的优化。体长、体高等体尺指标不仅反映机体总体发育水平，还间接影响内脏器官的生长空间，尤其是瘤胃等消化器官的发育，而更完全的瘤胃发育则有助于提高采食量和饲料利用效率^[18]。此外，较宽阔的胸围有利于增强心肺功能与血液循环，从而支持高强度的新陈代谢活动，这对于成年高产奶牛维持高

泌乳水平具有重要意义。本研究发现,即使在统计学上不同组别的母犊体尺差异不显著,但在数值上有增加,尤其是后期增加较大,PDH的体斜长、胸围和腹围有所增长。在犊牛阶段,不同的营养策略、饲喂管理或早期生长速度的差异往往反映在体尺发展上,并与后期生产性能存在关联^[19],有研究显示,断奶时日增重较高的犊牛在后续的生长发育中容易在体尺指标上表现出优势^[20]。早期生长较快的犊牛在成年后的泌乳量和存留时间上更具优势,而体尺较小的犊牛则可能表现出较低的泌乳潜力和更高的淘汰风险。另外,同样存在许多研究未能发现断奶前添加益生菌对体尺指标有统计学上的显著影响^[21],即体尺的发育是个漫长过程,可能需延长试验时间才能看到明显变化。

3.3 狄氏副拟杆菌 F4 对哺乳期母犊消化代谢的影响

提高犊牛消化代谢能力是目前奶牛养殖的一大发展方向,消化代谢能力的提高意味着促进了营养物质的高效利用,有助于提升动物生长和生产性能并节约饲料成本,提高经济价值^[22]。本研究中不同组别在干物质、粗蛋白、粗脂肪、中性和酸性洗涤纤维、有机物等表观消化率指标,以及代谢能、氮平衡等消化代谢指标上均未达到统计显著性。这意味着在当前试验条件、样本量和观察时间内,F4的添加未能显著改变犊牛总体营养消化利用率。但数值上的升高可能暗示其对消化系统的潜在调节作用,可能由于样本量较少而不易检测到显著差异。Branco-Lopes等^[17]的荟萃分析发现益生菌对营养消化率的影响常表现为异质性大、统计显著性不稳定的特点。另外益生菌可能通过改善肠道微生态环境、增强肠道消化酶活性或促进微生物蛋白合成等微观机制对营养利用产生潜在影响。Hernández-Gómez等^[23]的研究提出益生菌可主要通过调节胆盐水解酶(BSH)活性、改善胆汁酸代谢及增强肠道微环境等机制提升宿主代谢。刘波^[3]的研究不再局限于观察益生菌对生长性能或腹泻率等表型指标的单一影响,而是首次通过宏基因组学和代谢组学的联用,深入到分子层面,系统揭示了益生菌如何作为生态

调节剂,通过影响微生物的代谢活动,进而系统性地调控犊牛的消化、代谢和免疫生理过程,特定有益菌(如*Lactobacillus*)的丰度与丁酸等有益代谢物的水平呈显著正相关,而这些代谢物又与犊牛的免疫指标(如血清IgA、IgG水平)和抗氧化能力指标(如总抗氧化能力T-AOC)的改善密切相关。本研究未显示,F4补充对多数消化代谢指标有统计学显著影响,仅在数值上有提高,可能是由于样本量不足、效应量偏小以及指标本身的高变异性所致。受限于犊牛代谢试验的操作复杂性,每组仅纳入3头个体。小样本可能导致消化率等指标的统计变异增大,本研究代谢数据需谨慎解读。

4 结论

综上所述,在本试验条件下,每日饲喂 2×10^{10} CFU的狄氏副拟杆菌F4,可使荷斯坦母犊增重、体斜长、胸围和腹围等指标呈现出一定程度的增加。与此同时,尽管在消化率、能量代谢和氮利用等指标上未观察到统计学显著差异,但多数指标在PDH中呈现出一定的改善。结果表明狄氏副拟杆菌F4在荷斯坦母犊早期生长阶段可能具有一定的应用潜力,需进一步开展更大规模的试验进行验证。

参考文献

- [1] 靳纯嘏,叶耿坪,唐新仁.反刍动物饲用抗生素替代物研究进展[J].中国畜牧兽医,2018,45(1):77-85.
- [2] Stefańska B, Gąsiorek M, Nowak W. Short- and long-term effects of initial serum total protein, average starter feed intake during the last week of the preweaning period, and rearing body gain on primiparous dairy heifers' performance[J]. Journal of Dairy Science, 2021, 104(2): 1645-1659.
- [3] 刘波.多组学联合研究复合益生菌对新生犊牛肠道菌群多样性及机体代谢的作用机制[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2023.
- [4] 孟竞尧,李晓刚,叶均安,等.复合益生菌对4~6月龄犊牛生长性能、养分表观消化率和血液生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2021,57(9):182-186.
- [5] 王佳,郭佳楠,宫金烁,等.狄氏副拟杆菌改善ETEC诱导小鼠腹泻的作用机制[J].经济动物学报,2025,29(3):225-233.
- [6] Wang K, Liao M, Zhou N, et al. Parabacteroides distasonis

- alleviates obesity and metabolic dysfunctions via production of succinate and secondary bile acids[J]. *Cell Reports*, 2019, 26 (1) : 222-235.
- [7] Zhao Q, Dai M Y, Huang R Y, et al. Parabacteroides distasonis ameliorates hepatic fibrosis potentially via modulating intestinal bile acid metabolism and hepatocyte pyroptosis in male mice[J]. *Nature Communications*, 2023, 14 (1) : 1829.
- [8] Feng X, Liu Y, Xu S, et al. Functional analysis of Parabacteroides distasonis F4: a novel probiotic strain linked to calf growth and rumen fermentation[J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2025, 16 (1) : 50.
- [9] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术 (第3版) [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- [10] Soberon F, Van Amburgh M E. Lactation biology symposium: The effect of nutrient intake from milk or milk replacer of preweaned dairy calves on lactation milk yield as adults: A meta-analysis of current data[J]. *Journal of Animal Science*, 2013, 91 (2) : 706-712.
- [11] 白雪, 吴妍妍, 张文学. 复合微生态制剂和甘露寡糖对断奶犊牛生长性能和血清生化指标的影响[J]. *家畜生态学报*, 2023, 44 (4) : 31-36.
- [12] 管晓轩, 高民, 赵濛, 等. 复合微生态制剂对断奶前犊牛生长性能、腹泻率及血清生化、抗氧化和免疫指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2023, 35 (2) : 1008-1017.
- [13] Mogoş G F R Z, Manciulea Profir M, Enache R M H, et al. Intestinal microbiota in early life: Latest findings regarding the role of probiotics as a treatment approach for dysbiosis[J]. *Nutrients*, 2025, 17 (13) : 2071.
- [14] Davis E C, Wang M, Donovan S M. The role of early life nutrition in the establishment of gastrointestinal microbial composition and function[J]. *Gut Microbes*, 2017, 8 (2) : 143-171.
- [15] Xu S, Jiao C, Diao Q, et al. Preweaning period is a critical window for rumen microbial regulation of average daily gain in Holstein heifer calves[J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2023, 14 (1) : 128.
- [16] Guo Y, Li Z, Deng M, et al. Effects of a multi-strain probiotic on growth, health, and fecal bacterial flora of neonatal dairy calves[J]. *Animal Bioscience*, 2022, 35 (2) : 204-216.
- [17] Branco-Lopes R, Winder C, Canozzi M E, et al. Effects of probiotic supplementation on growth performance and feed intake of dairy calves: A meta-analysis[J]. *Journal of Dairy Science*, 2025, 108 (9) : 9501-9515.
- [18] Van de Stroet D L, Díaz J A C N, Stalder K J, et al. Association of calf growth traits with production characteristics in dairy cattle[J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99 (10) : 8347-8355.
- [19] Berends H, Van Reenen C G, Stockhofe-Zurwieden N, et al. Effects of early rumen development and solid feed composition on growth performance and abomasal health in veal calves[J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95 (6) : 3190-3199.
- [20] 张权. 犊牛出生重、断奶体重和哺乳期日增重对后备牛生长发育的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [21] Rashad A M A, Amin A H, Mahdy A E, et al. The impact of milk suckling protocol and schedule on body weight and some morphometric measurements of Holstein heifers[J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2022, 54 (3) :187.
- [22] 王聪, 杨春涛, 屠焰, 等. 芦丁及其复合制剂对大肠杆菌攻毒诱导犊牛腹泻的改善及营养物质代谢和瘤胃发酵的影响[J]. *饲料工业*, 2025 (2) : 94-103.
- [23] Hernández-Gómez J G, López-Bonilla A, Trejo-Tapia G, et al. In vitro bile salt hydrolase (BSH) activity screening of different probiotic microorganisms[J]. *Foods*, 2021, 10 (3) : 674.