

网络出版时间:2024-06-06 14:25 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2024.12.002
网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1390.S.20240605.1422.002

丁酸钠对新生犊牛生长性能及 消化道健康的影响

罗志皓^{1a}, 刘婷^{1a}, 李鹏^{1a}, 成述儒^{1b}, 朱建平²

(1 甘肃农业大学 a 动物科学技术学院, b 动物医学院, 甘肃 兰州 730070;

2 甘肃燎原乳业有限责任公司盛源养殖基地, 甘肃 临夏 731100)

摘要 【目的】探究丁酸钠对新生荷斯坦犊牛生长性能及消化道健康的影响。【方法】选取初生荷斯坦母犊牛 32 头,按出生日期交替分配在对照组与丁酸钠组,对照组牛饲喂酸化奶和开食料,丁酸钠组牛饲喂添加 0.3% (按乳中干物质计算)包被丁酸钠的酸化奶和开食料,试验期 70 d。在 0 和 70 日龄时,称体质量;在 70 日龄时,测定体高、体斜长、胸围、髻宽和管围,计算体长指数、体躯指数、胸围指数和管围指数;每日记录犊牛饲料采食数据,计算平均日采食量、平均日增重和料重比。在 70 日龄时,每组选取 5 头犊牛采集新鲜粪样,测算粗蛋白质、钙、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维、干物质、粗脂肪和磷的表观消化率;在 55 日龄时,进行颈静脉采血,分离血清,测定血清中乙酸、丙酸、戊酸、异丁酸、丁酸、异戊酸、己酸、庚酸等挥发性脂肪酸含量。在 14, 28, 42, 56 和 70 日龄时,采集新鲜粪便样品,进行菌落计数。每日对犊牛体况及粪便进行评分。【结果】丁酸钠可显著提升犊牛平均日采食量、试验终末体质量、平均日增重($P < 0.05$);显著提高血清中乙酸、丙酸、戊酸含量及日粮粗蛋白质、钙、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维的表观消化率($P < 0.05$),显著改善犊牛眼部和粪便评分($P < 0.05$)。丁酸钠可极显著抑制犊牛肠道中菌落总数、沙门/志贺菌的菌落数($P < 0.01$),从而显著降低犊牛腹泻率($P < 0.05$)。【结论】在犊牛乳中添加丁酸钠可以起到提高采食量、抑制肠道有害菌、降低腹泻发生概率、改善犊牛健康状况的作用。丁酸钠可作为犊牛生产中替代抗生素的绿色添加剂。

关键词 丁酸钠; 荷斯坦犊牛; 生长性能; 挥发性脂肪酸; 腹泻率; 绿色添加剂

[中图分类号] S823.5

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2024)12-0009-09

Effect of sodium butyrate on growth performance and digestive health of newborn calves

LUO Zhihao^{1a}, LIU Ting^{1a}, LI Peng^{1a}, CHENG Shuru^{1b}, ZHU Jianping²

(1 a College of Animal Science and Technology, b College of Veterinary Medicine, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2 Gansu Liaoyuan Dairy Co. LTD, Shengyuan Breeding Base, Linxia, Gansu 731100, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the effects of sodium butyrate on growth performance and digestive health of newborn Holstein calves. 【Method】 Thirty-two newborn Holstein female calves were selected and assigned to control (CK) and sodium butyrate (CSB) groups alternately according to dates of birth. CK were fed on acidified milk and starter as normal, while test cows in CSB group were fed on acidified milk and starter supplemented with 0.3% (based on dry matter in milk) encapsulated sodium butyrate. The test period lasted 70 days. Body weight was determined at the ages of 0 and 70 days, and body

[收稿日期] 2023-10-10

[基金项目] 国家自然科学基金项目(32060764); 甘肃农业大学学科团队项目(GAU-XKTD-2022-22); 临夏州优质肉牛标准化健康生产技术集成应用项目(KJJ-CX-2023-01)

[作者简介] 罗志皓(1997-), 男(土族), 甘肃天祝人, 在读硕士, 主要从事反刍动物生产研究。E-mail: lzxxxx0104@163.com

[通信作者] 刘婷(1984-), 女, 河北河间人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事牛健康养殖及其产品品质调控研究。

E-mail: liut@gsau.edu.cn

height, body length, girth, hip width and tube girth were measured at the age of 70 days. Body length index, body carcass index, breast girth index and tube girth index were calculated. Daily feed intake data were recorded and average daily feed intake, average daily gross gain and feed-to-weight ratio were calculated. Fresh fecal samples were collected from 5 calves in each group, and the apparent digestibility of crude protein, calcium, acid detergent fiber, neutral detergent fiber, dry matter, crude fat and phosphorus was measured at the age of 70 days. Blood was collected from the jugular vein at the age of 55 days, and serum was separated to determine contents of volatile fatty acids including acetic, propionic, valeric, isobutyric, butyric, isovaleric, caproic and heptanoic acids. Fresh feces were collected at the ages of 14, 28, 42, 56 and 70 days for colony counting. Calves were scored daily for body condition and feces. **【Result】** Sodium butyrate significantly increased average daily feed intake, end-of-trial body mass and average daily weight gain of calves ($P < 0.05$), and significantly increased serum levels of acetic acid, propionic acid and valeric acid ($P < 0.05$). It also significantly increased apparent digestibility of crude protein, calcium, acidic detergent fiber and neutral detergent fiber ($P < 0.05$) and significantly improved calf eye and fecal scores ($P < 0.05$). Sodium butyrate suppressed the total number of colonies and the number of *Salmonella*/*Shigella* colonies in intestinal tract of calves very significantly ($P < 0.01$) and significantly reduced calf diarrhea rate ($P < 0.05$). **【Conclusion】** The addition of sodium butyrate to calf milk increased feed intake, inhibited harmful intestinal bacteria, reduced the probability of diarrhea and improved calf health. Thus, it can be used as a green additive to replace antibiotics in calf production.

Key words: sodium butyrate; Holstein calf; growth performance; volatile fatty acid; diarrhea rate; green additive

抗生素,又名抗菌素,是由微生物或高等动植物产生的具有抗病原体活性的次级代谢产物或其化学合成物^[1]。在集约化养殖中,抗生素被大量用于动物疾病的防治,过量使用抗生素不仅会对动物机体产生严重毒性^[2],而且未被完全吸收利用的抗生素会残留在畜禽产品中或随动物排泄物进入土壤、水源^[3],进而威胁人类健康^[4],我国每年有约 9.7 万吨抗生素用于畜牧养殖行业^[5]。近年来,世界各国相继禁止将抗生素作为饲料添加剂应用于畜牧业,2019 年中华人民共和国农业农村部发布了 194 号公告,宣布我国实行全面禁抗,畜牧养殖行业面临着很大的挑战和机遇。

哺乳阶段的犊牛,存在胃肠道发育不健全,消化代谢能力差,免疫力低,易患腹泻和肺部疾病等问题^[6],严重影响犊牛健康生长和早期断奶,寻找新型的抗生素替代品解决犊牛养殖中存在的这些问题成为研究的热点之一。丁酸钠的主要功能物质为丁酸,具有促进消化吸收、提高生产性能、增强机体免疫功能、改善肠道微生物环境、抗炎等作用^[7-8]。有研究发现,丁酸可促进羔羊瘤胃乳突发育,提高瘤胃对营养成分的吸收能力^[9];丁酸钠有助于肠道发育,减轻断奶幼畜肠道损伤^[10];丁酸可有效降低仔猪腹

泻率,且可以提高营养物质的消化率^[11-12]。丁酸因具有挥发性,生产中通常被制备成相对稳定的丁酸钠,丁酸钠气味较小,挥发性较低,更适用于作为一种新型饲料添加剂来替代抗生素。本试验研究了丁酸钠对新生犊牛生长性能、血液挥发性脂肪酸、肠道致病菌和健康评分的影响,旨在为丁酸钠在犊牛养殖中的应用提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验动物为 32 头健康无病、初生体质量 ≥ 35 kg/头的新生荷斯坦犊牛,由甘肃省临夏回族自治州临夏县盛源养殖基地提供。试验所用酸化奶:甲酸和水按体积比 1:9 混合而成的酸液再与牛奶按体积比 3:100 混合而成,其营养水平及理化性质见表 1。颗粒料购自天康畜牧生物技术股份有限公司(中国新疆)。试验犊牛开食料由颗粒料与压片玉米按质量比 5:1 混合而成,其配方及营养水平见表 2。包被丁酸钠(coated sodium butyrate, CSB),有效物质丁酸含量为 90%,购自南昌利丰工贸有限责任公司。粪便菌落计数试验所用培养基均购自甘肃艾尔维科学仪器有限公司。

表 1 酸化奶营养成分及理化指标

Table 1 Nutrient composition and physicochemical indicators of acidified milk

指标 Index	数值 Value	指标 Index	数值 Value
乳脂肪/% Milk fat	2.81	总干物质/% Total dry matter	11.86
乳蛋白/% Milk protein	3.29	凝固点/℃ Freezing point	-0.558
非脂乳固体/% Solids not fat	9.58	酸度 pH	4.13
乳糖/% Lactose	4.88	电导率/(mS·cm ⁻¹) Conductivity	7.72
灰分/% Ash	0.74		

表 2 开食料配方及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutritional level of concentrate (air-drying base)

g/kg

配方及营养水平 Formulation and nutritional level	含量 Content	配方及营养水平 Formulation and nutritional level	含量 Content
玉米 Corn	405.4	氧化镁 MgO	1.0
豆粕 Soybean meal	320.0	酵母硒 Selenium yeast	0.2
小麦麸 Wheat bran	58.0	预混料 Premix	1.4
棉籽粕 Cottonseed meal	53.0	干物质 Dry matter	879.5
膨化大豆 Puffed soybeans	50.0	粗蛋白 Crude protein	221.7
乳清粉 Whey powder	40.0	粗脂肪 Ether extract	37.9
糖蜜 Molasses	40.0	粗灰分 Ash	59.1
碳酸钙 CaCO ₃	16.0	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	61.8
大豆油 Soybean oil	8.0	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	122.3
盐 NaCl	6.0	钙 Ca	9.1
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.0	磷 P	5.9

1.2 试验设计

试验于 2021 年 4 月至 8 月在甘肃省临夏回族自治州临夏县盛源养殖基地进行。采用完全随机区组设计,根据随机分配的原则将新生出的荷斯坦犊牛按出生日期依次交替分在对照组(CK)和 CSB 组,每组 16 头。犊牛出生后 1 h 内饲喂初乳 3.5~4 L/头,出生后 6 h 第 2 次饲喂初乳 2 L/头;之后 CK 组犊牛饲喂酸化奶和开食料,CSB 组犊牛饲喂添加 0.3%(按乳中干物质计算)CSB 的酸化奶和开食料,试验期为 70 d。试验期间日饲喂 3 次酸化乳(分别于 06:00、13:00、19:00 饲喂),自由采食开食料、自由饮水。CSB 组丁酸钠添加水平根据前人的研究报告^[13]确定。出生第 7 天小牛从产房转移至犊牛岛内单栏饲养。犊牛 56 日龄时断奶,断奶后自由采食开食料、自由饮水。

1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 生长性能测定 在 0 和 70 日龄时,使用地磅对每头试验犊牛的体质量(body weight, BW)进行测定。在 70 日龄时,使用测杖测量牛只体高(wither height, WH)、体斜长(body length, BL)和髻宽(hip width, HW),使用软尺测量牛只胸围(heart girth, HG)和管围(cannon girth, CG),为避免误差,体尺测量由同一人完成,计算体长指数(BL/WH)、体躯指数(HG/BL)、胸围指数(HG/WH)和管围指数(CG/WH)。每日记录犊牛饲料采

食数据,计算平均日采食量(average daily feed intake, ADFI)、平均日增重(average daily gain, ADG)和料重比(feed amount/weight gain, F/G)。

1.3.2 养分表观消化率测定 在 70 日龄时,每组选取 5 头犊牛采集新鲜粪便样品,混匀后于 -20 ℃ 冰箱中保存,用于测定粗蛋白质(crude protein, CP)、钙(Ca)、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)、中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)、干物质(dry matter, DM)、粗脂肪(ether extract, EE)、磷(P)等养分的含量。将粪便样品粉碎后,置于 105 ℃ 条件下干燥 6 h 后取出,待其冷却后称量干质量,计算 DM 含量;CP 含量使用 FOSS 全自动凯氏定氮仪(KjeltecTM8400, Denmark)测定;EE 含量参照 GB/T 6433-2006 进行测定;ADF 和 NDF 含量分别参照 NY/T 1459-2007 和 GB/T 20806-2022 进行测定;Ca 和 P 含量分别参照 GB/T 6436-2018 和 GB/T 6437-2018 进行测定。同时测定饲料中上述养分的含量。使用酸不溶灰分(acid insoluble ash, AIA)作为内源标记物,计算各养分表观消化率,某养分的表观消化率=[1-(a×b)/(c×d)]×100%,其中 a 为粪便中某养分的含量(%),b 为粪便中 AIA 含量(%),c 为饲料中该养分含量(%),d 为饲料中 AIA 含量(%)。

1.3.3 血清挥发性脂肪酸含量测定 在 55 日龄时,对试验犊牛进行颈静脉采血,每头牛采集 5 mL

血液样本于乙二胺四乙酸(EDTA)抗凝管中,室温下静置 30 min,3 000 r/min 离心 10 min,分离出血清,置于-20 ℃冰箱保存。将血清样品送至华英生物技术有限公司(中国北京)测定乙酸、丙酸、戊酸、异丁酸、丁酸、异戊酸、己酸、庚酸等挥发性脂肪酸(volatile fatty acids,VFA)含量。

1.3.4 粪便菌落计数 在 14,28,42,56,70 日龄时,对每头犊牛采用直肠刺激法采集 5 g 新鲜粪便于采粪管,加入 1 mL 无菌甘油后置于-20 ℃环境下保存,带回实验室。将粪便样品 10 倍梯度稀释后,接种不同培养基,置于 37 ℃恒温箱中培养 24 h 后,进行大肠埃希菌、沙门菌/志贺菌菌落和总菌落计数,每个指标作 2 个稀释梯度,每个稀释梯度 2 个重复。其中,大肠埃希菌计数使用麦康凯琼脂培养基(mac conkey,MAC),稀释梯度为 10^{-6} 和 10^{-7} ;菌落总数计数使用平板计数琼脂培养基(plate count agar,PCA),稀释梯度为 10^{-6} 和 10^{-7} ;沙门菌/志贺菌计数使用 SS 琼脂培养基(salmonella shigella agar,SS),稀释梯度为 10^{-5} 和 10^{-6} 。结果以每克粪便的菌落形成单位(colony-forming unit,CFU)的常用对数值[lg(CFU/g)]表示。

1.3.5 健康及粪便评分 试验期每日对犊牛体况(眼、鼻、耳)及粪便进行评分,其中体况评分参照威斯康星大学麦迪逊分校兽医学院开发的小牛健康评分标准(http://www.example.com/calf_health_scoring_chart.pdf)进行,粪便评分参照 Lee 等^[14]的方法进行。粪便评分标准:0 分,粪便僵硬;1 分,粪

便正常;2 分,粪便呈糊状;3 分,粪便呈水状,非常松散。耳评分标准:0 分,正常,双耳竖起;1 分,耳朵轻弹或者摇头;2 分,耳朵轻微单侧下垂;3 分,头部倾斜或双侧耳朵均下垂。鼻评分标准:0 分,鼻部正常,无黏液流出;1 分,单侧鼻孔有少量黏液流出;2 分,双侧鼻孔均有黏液流出;3 分,双侧鼻孔有大量的脓性黏液流出。眼评分标准:0 分,眼部正常,眼角无分泌物;1 分,一侧眼角有少量分泌物;2 分,两侧眼睛均有一定量的分泌物;3 分,两侧眼睛有大量分泌物,遮挡视线。计算各分值出现概率,计算公式如下:

$$\text{某分值出现概率} = \frac{\text{每头牛某分值出现次数}}{\text{总观察天数}(70)} \times$$

100%。

1.4 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2016 进行初步的统计和计算,采用 SPSS 25.0 对数据进行 ANOVA 单因素方差和重复测量方差分析,以 $P < 0.05$ 作为差异显著的判断标准。

2 结果与分析

2.1 丁酸钠对犊牛生长性能和养分表观消化率的影响

2.1.1 对生长性能的影响 由表 3 可知,试验期间,CSB 组犊牛终末体质量、ADG、ADFI 均显著高于 CK 组($P < 0.05$),2 组间 F/G、体长指数、体躯指数、胸围指数、管围指数均无显著差异($P > 0.05$)。

表 3 丁酸钠对犊牛生长性能的影响

Table 3 Effect of sodium butyrate on growth performance of calves

组别 Group	初生体质量/(kg·头 ⁻¹) Birth weight	终末体质量/(kg·头 ⁻¹) Final weight	ADG/ (g·头 ⁻¹ ·d ⁻¹)	ADFI/ (g·头 ⁻¹ ·d ⁻¹)	F/G
CK	38.22±3.80	80.16±5.83 b	599.11±44.48 b	557.65±92.01 b	0.93±0.16
CSB	39.06±3.71	85.63±6.66 a	655.18±63.46 a	691.47±165.65 a	1.03±0.17
组别 Group	体长指数 Body length index	体躯指数 Body mass index	胸围指数 Heart girth index	管围指数 Cannon girth index	
CK	0.929±0.029	1.162±0.031	1.079±0.024	0.129±0.004	
CSB	0.940±0.020	1.143±0.035	1.074±0.032	0.128±0.003	

注:ADG.平均日增重;ADFI.平均日采食量;F/G.料重比。CK.对照组;CSB.包被丁酸钠组;同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),表 4,5,7 同。

Note:ADG. Average daily gain;ADFI. Average daily feed intake;F/G. Feed amount/weight gain. CK. Control group;CSB. Coated sodium butyrate group. Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$). The same for Tables 4,5 and 7.

2.1.2 对养分表观消化率的影响 由表 4 可知,CSB 组饲料粗蛋白质、钙、酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维的表观消化率均显著高于 CK 组($P < 0.05$);干物质、粗脂肪和磷的表观消化率高于 CK 组,但差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 丁酸钠对犊牛血清挥发性脂肪酸含量的影响

由表 5 可知,CSB 组犊牛血清中乙酸、丙酸和戊酸含量均显著高于 CK 组($P < 0.05$),异丁酸、丁酸和异戊酸含量与 CK 组无显著差异($P > 0.05$),己酸和庚酸未检出。

表 4 丁酸钠对犊牛养分表观消化率的影响

组别 Group	干物质 Dry matter(DM)	粗蛋白质 Crud protein(CP)	粗脂肪 Ether extract(EE)	钙 Ca
CK	94.37±0.38	49.82±4.16 b	52.27±7.90	76.87±1.68 b
CSB	94.63±0.14	59.88±2.29 a	56.44±2.49	81.18±1.72 a
组别 Group	磷 P	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber(ADF)	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber(NDF)	
CK	52.74±3.99	41.70±5.67 b	45.08±3.01 b	
CSB	55.72±3.09	52.86±1.22 a	53.99±1.41 a	

表 5 丁酸钠对犊牛血清挥发性脂肪酸含量的影响

组别 Group	乙酸 Acetic acid	丙酸 Propionic acid	异丁酸 Isobutyric acid	丁酸 Butyrate
CK	355.40±60.46 b	147.60±51.01 b	2.49±0.78	153.93±70.56
CSB	418.36±86.84 a	189.46±57.49 a	2.43±0.95	139.35±83.89
组别 Group	戊酸 Valeric acid	异戊酸 Isovaleric acid	己酸 Caproic acid	庚酸 Heptylic acid
CK	3.14±1.02 b	2.95±1.35	/	/
CSB	4.86±1.64 a	3.80±2.42	/	/

注:/表示未检测出。表 6 同。

Note:/indicates not detected. The same for Table 6.

2.3 丁酸钠对犊牛粪便微生物的影响

由表 6 可知,试验犊牛在 14 日龄时,CSB 组沙门菌/志贺菌菌落数和菌落总数极显著小于 CK 组 ($P < 0.01$),大肠埃希菌菌落数与 CK 组差异不显著 ($P > 0.05$)。28 日龄时,CSB 组大肠埃希菌菌落

数和菌落总数与 CK 组无显著差异 ($P > 0.05$),沙门菌以及志贺菌未检测出。42~70 日龄,未检测出大肠埃希菌、沙门菌以及志贺菌;CSB 组菌落总数低于 CK 组,其中 42 和 56 日龄时差异极显著 ($P < 0.01$),70 日龄时差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 6 丁酸钠对犊牛粪便微生物的影响

Table 6 Effects of sodium butyrate on microorganisms in calf feces

日龄 Days of age	项目 Item	CK	CSB
14	大肠埃希菌 <i>Escherichia coli</i>	11.36±0.29	10.86±0.22
	沙门菌/志贺菌 <i>Salmonella/Shigella</i>	11.47±0.18 A	11.04±0.12 B
	菌落总数 Total plate count	12.01±0.18 A	10.86±0.19 B
28	大肠埃希菌 <i>Escherichia coli</i>	10.88±0.20	11.44±0.25
	沙门菌/志贺菌 <i>Salmonella/Shigella</i>	/	/
	菌落总数 Total plate count	11.13±0.10	11.47±0.15
42	大肠埃希菌 <i>Escherichia coli</i>	/	/
	沙门菌/志贺菌 <i>Salmonella/Shigella</i>	/	/
	菌落总数 Total plate count	10.29±0.13 A	10.14±0.20 B
56	大肠埃希菌 <i>Escherichia coli</i>	/	/
	沙门菌/志贺菌 <i>Salmonella/Shigella</i>	/	/
	菌落总数 Total plate count	11.56±0.23 A	10.56±0.07 B
70	大肠埃希菌 <i>Escherichia coli</i>	/	/
	沙门菌/志贺菌 <i>Salmonella/Shigella</i>	/	/
	菌落总数 Total plate count	11.93±0.23	11.51±0.17

注:表中数据为 lg (CFU/g) 值。同行数据后标不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: The data are lg (CFU/g) values. Capital letters indicate very significant differences among treatments ($P < 0.01$).

2.4 丁酸钠对犊牛健康及粪便评分的影响

由表 7 可知,在整个试验期内,CK 组犊牛耳、鼻评分与 CSB 组无显著差异 ($P > 0.05$);眼评分部

分,CSB 组犊牛出现 2 分的概率显著低于 CK 组 ($P < 0.05$);粪便评分,CSB 组出现腹泻(3 分为腹泻)的概率显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。

表 7 丁酸钠对犊牛健康及粪便评分的影响

Table 7 Effects of sodium butyrate on calf health and fecal scores

%

组别 Group	眼 Eye score			
	0 分 0 points	1 分 1 points	2 分 2 points	3 分 3 points
CK	37.32±14.63	54.82±12.47	14.10±8.06 a	0.00
CSB	27.77±12.17	58.13±10.66	7.86±5.92 b	0.00
组别 Group	鼻 Nose score			
	0 分 0 points	1 分 1 points	2 分 2 points	3 分 3 points
CK	29.73±9.20	44.46±8.73	23.40±10.35	2.41±2.43
CSB	33.04±7.26	43.93±12.93	21.07±10.31	1.96±4.04
组别 Group	耳 Ear score			
	0 分 0 points	1 分 1 points	2 分 2 points	3 分 3 points
CK	11.69±6.00	60.45±12.02	25.54±10.35	2.32±5.21
CSB	10.71±5.42	59.64±8.32	27.60±8.01	2.05±5.06
组别 Group	粪便 Fecal score			
	0 分 0 points	1 分 1 points	2 分 2 points	3 分 3 points
CK	38.30±7.85	51.88±9.81	8.84±4.18	0.98±1.13 a
CSB	35.80±6.14	52.32±7.43	11.61±5.44	0.27±0.58 b

注:表中数据为不同分值出现的概率。

Note: The data are the probability of occurrence of different scores.

3 讨论

3.1 丁酸钠对犊牛生长性能的影响

胃肠道的功能及其健康状况是影响动物生产性能的重要因素^[15],良好的胃肠功能对动物生产至关重要。胃肠道的结构和功能发育是否健全,对幼畜的生长和健康有重要影响,研究表明,在幼畜日粮中添加丁酸钠可促进其胃肠道功能和结构的发育,提高生产性能,增强消化代谢,减少疾病发生^[16-17];丁酸钠可提高犊牛的采食量和平均日增重^[18-19]。丁酸钠对断奶后母牛平均体质量和总体质量有积极影响,可提高饲料效率,降低血糖浓度^[20]。饲喂丁酸钠后,羔羊断奶体质量更大^[21]。在妊娠期和哺乳期母猪饲料中添加丁酸钠,可显著提高母猪的平均日采食量,且仔猪初生平均体质量、断奶平均体质量和平均日增重均显著高于对照组,腹泻率显著低于对照组^[22]。本试验中,添加丁酸钠组犊牛的终末体质量、平均日增重、平均日采食量较对照组分别提高了6.82%、9.36%和24%,说明在饲料中添加丁酸钠有助于提高犊牛采食量,从而促进犊牛的生长。

3.2 丁酸钠对日粮养分表观消化率的影响

养分表观消化率是衡量动物机体对饲料消化代谢能力的指标,与动物机体生长发育密切相关。研究表明,丁酸钠可以提高动物肠道消化酶活性,在日粮中添加丁酸钠可使猪的空肠总蛋白酶活性较对照组提高23.09%、脂肪酶活性较对照组提高72.44%^[23],丁酸钠会通过激活胃蛋白酶原,促进蛋白质消化^[24],使动物机体对饲料养分有更高的消化利用效

率。挥发性脂肪酸是纤维降解菌生长所必需的因子^[25],日粮中添加丁酸钠可以提高动物机体挥发性脂肪酸的含量,促进纤维降解菌生长^[26],增强机体对粗饲料的消化能力。丁酸钠还可以刺激和加速胃肠道的发育^[27],日粮中添加丁酸钠可提高奶牛瘤胃乳头上皮细胞有丝分裂指数,增强其增殖能力,增加瘤胃乳头长度^[28],导致营养物质吸收的表面积增大。本试验中,添加丁酸钠组日粮 CP、Ca、ADF、NDF 的表观消化率较对照组分别提高了20.19%、5.61%、23.95%和23.82%,与上述研究结果一致。

3.3 丁酸钠对犊牛血清挥发性脂肪酸含量的影响

反刍动物挥发性脂肪酸是微生物发酵碳水化合物的主要代谢产物,为动物机体提供能量,维持瘤胃功能,是反映瘤胃代谢能力的重要指标^[29],其含量与采食量正相关。有研究发现,丁酸钠可以改善羔羊生产性能,促进瘤胃乳头生长,并促进断奶前羔羊瘤胃上皮 VFA 摄取和代谢相关基因的表达,同时可提高羔羊瘤胃乙酸、丁酸和戊酸含量^[30]。添加1g/kg的丁酸钠可以提高奶牛瘤胃丁酸、异丁酸含量^[31]。本试验结果表明,丁酸钠可提高犊牛血清乙酸、丙酸、戊酸含量,与上述报道一致,其作用机制可能是丁酸钠提高了犊牛的干物质采食量,导致瘤胃微生物发酵底物增加所致。有研究表明,丁酸经由瘤胃壁吸收后在肝脏中代谢,之后进入后腔静脉,进而经肺循环进入动脉^[32],其大部分被瘤胃上皮细胞代谢^[33],而丁酸盐可以刺激瘤胃上皮功能的发育^[34]。本研究丁酸钠组犊牛血清异丁酸、丁酸的含量较对照组有所降低但差异不显著,其原因可能是

丁酸钠组犊牛瘤胃上皮细胞对于丁酸的代谢能力更强,导致进入血液循环的丁酸含量下降。

3.4 丁酸钠对犊牛肠道致病菌的影响

丁酸钠在反刍动物上的研究主要集中在犊牛和羔羊上,因为幼龄牛、羊胃肠道发育较慢,消化吸收能力和主动免疫能力差,所以提升幼龄牛、羊胃肠道发育速度和免疫能力是其健康成长的关键。研究发现,丁酸钠可以维持断奶羔羊肠道健康,改善肠道形态,调节微生物群落并减轻脂多糖(lipopolysaccharide,LPS)诱导的炎症反应^[35]。丁酸钠可降低犊牛腹泻发生率,改善犊牛健康^[36]。研究表明,丁酸钠进入动物胃中,分解出氢离子和丁酸根离子,氢离子达到一定浓度后会杀灭大肠埃希菌、沙门菌等有害菌,而乳酸菌等耐酸的有益菌不受影响,此过程可以维持动物胃肠道微生物的动态平衡,起到调节和保护胃肠道正常功能的作用^[37-38]。在饲料中添加丁酸钠,可使肉鸡沙门菌的感染率显著降低,使大肠埃希菌引起的炎症显著缓解^[39]。丁酸钠可显著改善畜禽肠道微生物环境^[40-41]。本试验发现,丁酸钠可以抑制犊牛肠道大肠埃希菌、沙门/志贺菌生长,降低犊牛腹泻率。粪便菌落总数与奶牛乳房炎的发病率呈正相关^[42],本试验中,丁酸钠组菌落总数在 14、42 和 56 日龄均显著低于对照组,说明丁酸钠可以抑制犊牛粪便菌落总数,如在后续生产过程中持续饲喂则可以降低母牛乳房炎发生的概率。有研究表明,犊牛在出生后 3~4 周时,前胃会得到快速发育^[43],随着肠道发育,犊牛能更有效地摄取饲料中的养分^[44],从而建立和完善自身免疫机能。本试验中,28 日龄后粪便样品中未检测出大肠埃希菌、沙门/志贺菌,推测其原因为犊牛自身免疫系统逐渐完善,对外界致病菌的抵御能力相应增强。

3.5 丁酸钠对犊牛体况评分的影响

犊牛在营养水平不足或患病时会出现垂耳、眼和鼻部有分泌物等症状^[45-46],因此对犊牛眼、鼻、耳进行评分可以反映犊牛营养水平和健康状况。本试验中,丁酸钠显著改善了犊牛眼部评分出现 2 分(两侧眼睛均有一定量的分泌物存在)的概率,有助于改善眼部健康状况,抵抗呼吸道感染或角膜炎的发生^[47];粪便评分结果显示,丁酸钠组犊牛出现腹泻的概率显著降低,这与粪便中致病微生物计数的研究结果相对应。

[参考文献]

[1] 王润玲. 药物化学 [M]. 2 版. 北京:中国医药科技出版社,

2006.

Wang R L. Pharmacology [M]. 2nd ed. Beijing:China Medical Science Press,2006.

- [2] Demain A L, Sanchez S. Microbial drug discovery: 80 years of progress [J]. The Journal of Antibiotics, 2009, 62(1): 5-16.
- [3] Gaballah M S, Guo J, Sun H, et al. A review targeting veterinary antibiotics removal from livestock manure management systems and future outlook [J]. Bioresource Technology, 2021, 333: 125069.
- [4] Bengtsson-Palme J, Larsson D G J. Concentrations of antibiotics predicted to select for resistant bacteria: proposed limits for environmental regulation [J]. Environment International, 2016, 86: 140-149.
- [5] 周明丽. 畜牧业中滥用抗生素的现状及应对措施 [J]. 畜业, 2013(8): 20-22.
- Zhou M L. Current situation and countermeasures of abuse of antibiotics in animal husbandry [J]. Livestock and Poultry Industry, 2013(8): 20-22.
- [6] Du W J, Wang X H, Hu M, et al. Modulating gastrointestinal microbiota to alleviate diarrhea in calves [J]. Frontiers in Microbiology, 2023, 14: 1181545.
- [7] 侯冬强, 赵红霞, 彭凯, 等. 丁酸钠的生物学功能及其在动物生产中的应用 [J]. 动物营养学报, 2023, 35(4): 2119-2128.
- Hou D Q, Zhao H X, Peng K, et al. Biological functions of sodium butyrate and its application in animal production [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(4): 2119-2128.
- [8] 王程瑶, 张政, 吴静. 肠道短链脂肪酸在炎症性肠病中的研究进展 [J]. 中国医刊, 2022, 57(12): 1302-1307.
- Wang C Y, Zhang Z, Wu J. Research progress of intestinal short-chain fatty acids in inflammatory bowel disease [J]. Chinese Journal of Medicine, 2022, 57(12): 1302-1307.
- [9] 纪雯雯, 云燕, 张艳芳, 等. 丁酸钠对哺乳期湖羊羔羊生长性能、血浆指标和瘤胃发育的影响 [J]. 动物营养学报, 2023, 35(3): 1803-1815.
- Ji W W, Yun Y, Zhang Y F, et al. Effects of sodium butyrate on growth performance, plasma indexes, rumen development of Hu lambs during suckling period [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2023, 35(3): 1803-1815.
- [10] 秦枫, 邵乐, 潘孝青, 等. 饲料粗蛋白质水平对 49 日龄幼兔生长性能、营养物质表观消化率、血清抗氧化及脂肪代谢相关指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2020, 32(8): 3798-3807.
- Qin F, Shao L, Pan X Q, et al. Effects of dietary crude protein level on growth performance, nutrient apparent digestibilities, serum antioxidant and lipid metabolism related indicators of 49-day-old young rabbits [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(8): 3798-3807.
- [11] 袁文华, 赵蕊, 王洪燕, 等. 不同来源丁酸钠对断奶仔猪生产性能及猪舍内氨气浓度的影响 [J]. 畜牧产业, 2022(9): 64-68.
- Yuan W H, Zhao R, Wang H Y, et al. Effects of different sources of sodium butyrate on performance and ammonia concentration in pigsty of weaned piglets [J]. Animal Agriculture, 2022(9): 64-68.

- [12] Li M, Long S F, Wang Q Q, et al. Mixed organic acids improve nutrients digestibility, volatile fatty acids composition and intestinal microbiota in growing-finishing pigs fed high-fiber diet [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2019, 32(6): 856-864.
- [13] 李璐. 酸化奶中加入丁酸在不同饲养模式下对犊牛生长性能、消化机能和断奶应激的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- Li J. Effects of butyric acid added to acidified milk on growth performance, digestive function and weaning stress of calves under different feeding modes [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019.
- [14] Lee H J, Khan M A, Lee W S, et al. Influence of equalizing the gross composition of milk replacer to that of whole milk on the performance of Holstein calves [J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87(3): 1129-1137.
- [15] 仲伟平, 张风华, 赵玉军. 胃肠道功能在动物营养和健康方面的作用 [J]. *中国饲料*, 2019(20): 21-24.
- Zhong W P, Zhang F H, Zhao Y J. The role of gastrointestinal function in animal nutrition and health [J]. *China Feed*, 2019(20): 21-24.
- [16] 吴东霖, 徐萍, 邵凯, 等. 丁酸在幼龄反刍动物中的作用机理及其产品应用的研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32(3): 1034-1046.
- Wu D L, Xu P, Shao K, et al. Mechanism of butyric acid and application of its products in young ruminants [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(3): 1034-1046.
- [17] 俞文靓, 王超, 王敏, 等. 丁酸钠对犊牛胃肠道发育的研究进展 [J]. *中国畜牧兽医*, 2019, 46(8): 2354-2359.
- Yu W J, Wang C, Wang M, et al. Research progress on the effect of sodium butyrate on the development of gastrointestinal tract of calves [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2019, 46(8): 2354-2359.
- [18] McCurdy D E, Wilkins K R, Hiltz R L, et al. Effects of supplemental butyrate and weaning on rumen fermentation in Holstein calves [J]. *Journal of Dairy Science*, 2019, 102(10): 8874-8882.
- [19] 刘丽华, 张卫辉, 夏新成, 等. 丁酸钠对肉仔鸡生产性能及免疫功能的影响 [J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(10): 84-88.
- Liu L H, Zhang W H, Xia X C, et al. Effects of sodium butyrate on growth performance and immune function in broilers [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2009, 24(10): 84-88.
- [20] Rice E M, Aragona K M, Moreland S C, et al. Supplementation of sodium butyrate to postweaned heifer diets: effects on growth performance, nutrient digestibility, and health [J]. *Journal of Dairy Science*, 2019, 102(4): 3121-3130.
- [21] Soltani M, Kazemi-Bonchenari M, Khaltabadi-Farahani A H, et al. Interaction of forage provision (alfalfa hay) and sodium butyrate supplementation on performance, structural growth, blood metabolites and rumen fermentation characteristics of lambs during pre-weaning period [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2017, 230: 77-86.
- [22] 岳敏, 许丽, 方翠林, 等. 丁酸钠对母猪生产性能和抗氧化功能及后代仔猪生长的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2014, 50(23): 44-47.
- Yue M, Xu L, Fang C L, et al. Effects of sodium butyrate on reproductive performance and antioxidant capacity of sows and growth of performance of piglets [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2014, 50(23): 44-47.
- [23] 孙佳静. 丁酸钠对生长育肥猪生长性能和肠道健康的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- Sun J J. Effect of sodium butyrate on growth performance and intestinal health of growing-finishing pigs [D]. Chongqing: Southwest University, 2019.
- [24] 郭传珍, 曹兵海. 丁酸钠对肉鸡肠道 pH 值、微生物菌群和挥发性脂肪酸的影响研究 [J]. *中国家禽*, 2009, 31(21): 14-17, 21.
- Guo C Z, Cao B H. Effects of sodium butyrate on intestinal pH value and intestinal colonic microflora population and volatile fatty acid of broilers [J]. *China Poultry*, 2009, 31(21): 14-17, 21.
- [25] Allison M J. Biosynthesis of amino acids by ruminal microorganisms [J]. *Journal of Animal Science*, 1969, 29(5): 797-807.
- [26] 张昕妍, 段春辉, 杨若晨, 等. 妊娠后期添加丁酸钠对湖羊母羊生长性能、养分表观消化率、血清抗氧化和免疫指标及羔羊生长性能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2022, 34(10): 6550-6564.
- Zhang X Y, Duan C H, Yang R C, et al. Effects of sodium butyrate supplementation during late gestation on growth performance, nutrient apparent digestibility, serum antioxidant and immune indices of Hu sheep ewes and growth performance of lambs [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(10): 6550-6564.
- [27] Lan R X, Li S Q, Zhao Z H, et al. Sodium butyrate as an effective feed additive to improve growth performance and gastrointestinal development in broilers [J]. *Veterinary Medicine and Science*, 2020, 6(3): 491-499.
- [28] Górka P, Kowalski Z M, Zabielski R, et al. Invited review: use of butyrate to promote gastrointestinal tract development in calves [J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(6): 4785-4800.
- [29] 任春燕, 毕研亮, 杜汉昌, 等. 开食料中不同 NDF 水平对犊牛生长性能、瘤胃内环境及血清生化指标的影响 [J]. *草业学报*, 2018, 27(5): 210-218.
- Ren C Y, Bi Y L, Du H C, et al. Effects of different starter NDF levels on the growth performance, rumen environments and serum biochemical parameters of calves [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(5): 210-218.
- [30] Liu L X, Sun D M, Mao S Y, et al. Infusion of sodium butyrate promotes rumen papillae growth and enhances expression of genes related to rumen epithelial VFA uptake and metabolism in neonatal twin lambs [J]. *Journal of Animal Science*, 2019, 97(2): 909-921.
- [31] Herrick K J, Hippen A R, Kalscheur K F, et al. Single-dose

- infusion of sodium butyrate, but not lactose, increases plasma β -hydroxybutyrate and insulin in lactating dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(1):757-768.
- [32] 王中华. 反刍动物挥发性脂肪酸中间代谢 [J]. *草食家畜*, 1995(2):23-31, 34.
Wang Z H. Ruminants volatile fatty acid metabolism [J]. *Herbivorous Animals*, 1995(2):23-31, 34.
- [33] van der Beek C M, Bloemen J G, van den Broek M A, et al. Hepatic uptake of rectally administered butyrate prevents an increase in systemic butyrate concentrations in Humans1-3 [J]. *The Journal of Nutrition*, 2015, 145(9):2019-2024.
- [34] Nawińska B, Hanczakowska E, Arciszewski M B, et al. Review: exogenous butyrate: implications for the functional development of ruminal epithelium and calf performance [J]. *Animal*, 2017, 11(9):1522-1530.
- [35] Wang K X, Chen X, Zuo L J, et al. Dietary sodium butyrate protects lipopolysaccharide-induced inflammatory response in lambs through inhibiting TLR4/NF- κ B signalling pathway [J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2021, 20(1):1398-1409.
- [36] 左丽君. 丁酸钠对断奶羔羊生长性能、胃肠道发育及肠道微生物的影响 [D]. 黑龙江大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2020.
Zuo L J. Effects of sodium butyrate on growth performance, gastrointestinal development and intestinal microorganism of weaned lambs [D]. Daqing, Heilongjiang: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2020.
- [37] Guilloteau P, Martin L, Eeckhaut V, et al. From the gut to the peripheral tissues: the multiple effects of butyrate [J]. *Nutrition Research Reviews*, 2010, 23(2):366-384.
- [38] Sun Q, Ji Y C, Wang Z L, et al. Sodium butyrate alleviates intestinal inflammation in mice with necrotizing enterocolitis [J]. *Mediators of Inflammation*, 2021, 2021:6259381.
- [39] 王宗伟, 庄佳荣, 李洪涛, 等. 丁酸钠调控肠道屏障的作用机制及其在肉鸡养殖中的应用 [J]. *动物营养学报*, 2023, 35(5):2729-2737.
Wang Z W, Zhuang J R, Li H T, et al. Mechanism of sodium butyrate regulating intestinal barrier and its application in broiler breeding [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2023, 35(5):2729-2737.
- [40] Chen W J, Chang K, Chen J L, et al. Dietary sodium butyrate supplementation attenuates intestinal inflammatory response and improves gut microbiota composition in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fed with a high soybean meal diet [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2021, 47(6):1805-1819.
- [41] 张城瑞, 于清源, 王季红, 等. 饲料添加丁酸梭菌对育肥山羊生长性能和直肠微生物区系的影响 [J]. *动物营养学报*, 2022, 34(8):5146-5155.
Zhang C R, Yu Q Y, Wang J H, et al. Effects of dietary supplementation with *Clostridium butyricum* on growth performance and rectal microflora of fattening goats [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(8):5146-5155.
- [42] 金兰梅, 谈亦奇, 季聪, 等. 奶牛小区舍内细菌数量与乳房炎发生的相关性研究 [J]. *金陵科技学院学报*, 2010, 26(3):79-84.
Jin L M, Tan Y Q, Ji C, et al. The relevant research on the amount of bacteria in cow houses and cow mastitis [J]. *Journal of Jinling Institute of Technology*, 2010, 26(3):79-84.
- [43] Heinrichs J. Rumen development in the dairy calf [J]. *Advances in Dairy Technology*, 2005, 17:179-187.
- [44] Hill T M, Bateman H G, Aldrich J M, et al. Effect of milk replacer program on digestion of nutrients in dairy calves [J]. *Journal of Dairy Science*, 2010, 93(3):1105-1115.
- [45] 魏之福, 王振成. 犊牛常见病防治技术的实践与探讨 [J]. *中国乳业*, 2023(3):54-59.
Wei Z F, Wang Z C. Practice and discussion on prevention and treatment of common calf diseases [J]. *China Dairy*, 2023(3):54-59.
- [46] 贺普霄, 刘炳琪. 新生犊牛先天性营养衰竭初探 [J]. *畜牧兽医杂志*, 2019, 38(5):80-81.
He P X, Liu B Q. Preliminary study on congenital nutritional failure of newborn calves [J]. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2019, 38(5):80-81.
- [47] 孔祥来. 牛角膜炎诊断及治疗措施 [J]. *畜牧兽医科学(电子版)*, 2022(7):35-36.
Kong X L. Diagnosis and treatment of bovine keratitis [J]. *Graziery Veterinary Sciences (Electronic Version)*, 2022(7):35-36.

(责任编辑:马秋明)