

张 凯, 张志鹏, 白云峰, 等. 日粮中添加过瘤胃胆碱对湖羊生长性能和营养物质表观消化率的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(5): 137–142.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.05.026

日粮中添加过瘤胃胆碱对湖羊生长性能和营养物质表观消化率的影响

张 凯¹, 张志鹏^{1,2}, 白云峰¹, 涂远璐¹, 高立鹏¹, 宋 谦¹

(1. 江苏省农业科学院畜牧研究所/农业农村部种养结合重点实验室, 江苏南京 210014; 2. 邳州市小河科技发展有限公司, 江苏徐州 221300)

摘要:为研究过瘤胃胆碱对育肥湖羊的生长性能和营养物质表观消化率的影响, 选择 40 只体质量为 (15.05 ± 3.38) kg 的湖羊随机分成 4 组, 即对照组(日粮 A)、试验组(日粮 B、日粮 C、日粮 D), 每组重复 10 次, 分别饲喂添加 0、0.1%、0.2%、0.4% 过瘤胃胆碱的日粮, 预饲期为 7 d, 试验期为 65 d。结果表明, 4 组试验湖羊的体斜长、体高以及管围差异不显著($P>0.05$); 日粮 B 的平均日采食量显著高于日粮 A、日粮 C、日粮 D($P<0.05$), 4 组日粮的料质量比差异不显著($P>0.05$); 日粮 D 的干物质、粗蛋白表观消化率显著高于日粮 A、日粮 B、日粮 C($P<0.05$), 日粮 D 的有机物表观消化率显著高于日粮 B 和日粮 C($P<0.05$), 但与日粮 A 差异不显著($P>0.05$); 日粮 D 的中性洗涤纤维表观消化率显著高于其他 3 组($P<0.05$); 日粮 C 与日粮 D 的酸性洗涤纤维差异不显著($P>0.05$), 但两者显著高于日粮 A 和日粮 B($P<0.05$)。日粮 D 的钙表观消化率显著高于日粮 A、日粮 B、日粮 C($P<0.05$), 日粮 A、日粮 B、日粮 C 的钙表观消化率差异不显著($P>0.05$); 日粮 B 和日粮 D 的磷表观消化率显著高于日粮 A, 但与日粮 C 的差异不显著($P>0.05$)。由此可见, 日粮中添加不同比例过瘤胃胆碱对湖羊的生长性能以及营养物质消化率产生不同程度的影响, 其中, 以 0.4% 的添加比例对提高湖羊的生长性能以及营养物质消化率方面具有较好的效果。

关键词:湖羊; 过瘤胃胆碱; 生长性能; 消化率; 营养物质

中图分类号: S826.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)05-0137-05

胆碱是一种动物必需的营养物质, 主要从食物中获取, 在维持细胞结构和脂类转运方面发挥关键作用^[1-2]。由于反刍动物特殊的瘤胃结构, 胆碱进入瘤胃后会被微生物迅速降解, 导致其生物学效价大打折扣, 因此采用过瘤胃保护技术将胆碱添加到反刍动物的日粮中。有研究表明, 过瘤胃保护胆碱应用于奶牛生产中能够有效提升奶牛生产性能, 优化繁殖性能, 减少发病率, 降低死亡率^[3-6]。但 Pinotti 等研究表明, 奶牛日粮中添加过瘤胃胆碱对奶牛乳产量、乳脂乳蛋白率无显著影响^[7-8]。同样有研究表明, 在肉羊日粮中添加胆碱对日采食量和料肉比均无显著影响^[9]。程春梅研究认为, 在相同日粮水平下, 日粮中添加胆碱能够在一定程度上提升肉牛的生长性能和饲料转化率^[10]。目前, 过瘤胃

保护胆碱在肉用反刍动物方面的研究较少且结果不尽相同, 这可能与添加水平、添加时间以及包被技术、过瘤胃保护效率有关。因此, 本试验拟在相同营养水平下, 在断奶湖羊羔羊日粮中添加不同比例的过瘤胃胆碱, 研究其对湖羊生长性能和养分表观消化率的影响, 以期过瘤胃胆碱在反刍动物上的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与设计

本试验于 2019 年 3—6 月在江苏西来原生态农业有限公司进行, 选取体质量为 (15.05 ± 3.38) kg、日龄相近的湖羊 40 只, 随机分为 4 组, 每组 10 只, 单栏饲喂, 其中预饲期为 7 d, 正式试验为 65 d, 其中生长试验为 60 d, 消化代谢试验为 5 d。每天在 08:00 和 14:00 分 2 次饲喂, 保证自由饮水和采食。

1.2 试验饲料及饲养管理

参考美国国家科学研究委员会(NRC)1981 年建议的绵羊营养需要量配制试验饲料。处理组分别记为日粮 A、日粮 B、日粮 C 和日粮 D。试验日粮采用全混合颗粒料, 由邳州市小河科技发展有限公司

收稿日期: 2020-11-03

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(15)1003-11]。

作者简介: 张 凯(1987—), 男, 江苏阜宁人, 博士, 助理研究员, 从事反刍动物营养代谢综合征研究。E-mail: zhangkai11895452@126.com。

通信作者: 白云峰, 博士, 研究员, 从事反刍动物营养研究。E-mail: Blinkeye@126.com。

司加工生产。以日粮 A 作为对照日粮,日粮 B、日粮 C 和日粮 D 中过瘤胃胆碱的添加比例分别为 0.1%、0.2%、0.4%。试验中使用的过瘤胃胆碱(商品名为美克灵,过瘤胃胆碱含量为 25%,过瘤胃率≥80%,小肠释放率≥95%),由上海美农生物科技有限公司提供。日粮组成和营养水平见表 1。

表 1 试验日粮组成及营养水平

类别	成分	含量或占比(%)			
		A	B	C	D
日粮组成	玉米	17.00	17.00	17.00	17.00
	麦麸	6.00	6.00	6.00	6.00
	大豆皮	18.00	18.00	18.00	18.00
	喷浆玉米皮	8.00	8.00	8.00	8.00
	芝麻粕	3.00	3.00	3.00	3.00
	玉米	12.00	12.00	12.00	12.00
	枣粉	5.00	5.00	5.00	5.00
	玉米胚芽粕	7.00	7.00	7.00	7.00
	大蒜皮	5.00	5.00	5.00	5.00
	花生秧	15.00	15.00	15.00	15.00
	酵母培养物	0.30	0.30	0.30	0.30
	过瘤胃胆碱	0.00	0.10	0.20	0.40
	食盐	0.50	0.50	0.50	0.50
	磷酸氢钙	0.20	0.20	0.20	0.20
	石粉	0.65	0.65	0.65	0.65
	膨润土	1.10	1.00	0.90	0.70
	丙酸钙	0.25	0.25	0.25	0.25
	无水硫酸钙	0.50	0.50	0.50	0.50
	预混料	0.50	0.50	0.50	0.50
	合计	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平	干物质含量	90.16	90.16	90.16	90.16
	能量水平(MJ/kg)	11.34	11.34	11.34	11.34
	粗蛋白质含量	13.39	13.39	13.39	13.39
	蛋白氮含量	7.15	7.15	7.15	7.15
	钙含量	1.07	1.07	1.07	1.07
	磷含量	0.42	0.42	0.42	0.42
	中性洗涤纤维含量	36.02	36.02	36.02	36.02
	酸性洗涤纤维含量	21.34	21.34	21.34	21.34
	粗灰分含量	9.62	9.62	9.62	9.62
	粗脂肪含量	3.92	3.92	3.92	3.92

注:1 kg 预混料含维生素 A 1.650 mg、维生素 D₃ 2.000 mg、维生素 E 0.037 mg、硫酸亚铁 345.150 mg、硫酸铜 88.000 mg、硫酸钾 253.600 mg、硫酸锌 285.700 mg、硫酸锰 220.150 mg、氯化钴 1.250 mg、亚硒酸钠 44.750 mg、莫能菌素 30.000 mg、碳酸氢钠 3 704.550 mg。

1.3 生长性能测定

每天根据前 1 d 料槽内剩料调整试验羊的饲喂

量,确保料槽每天有 10% 左右的剩料。试验期间每天饲喂前记录投料量并称取前 1 d 的剩料量,以准确获得每组试验羊日采食量。分别于试验开始、以及每间隔 20 d 和结束时,在早上饲喂前逐只称取试验羊的初始质量和终末质量,从而计算出平均日增质量、日采食量和料质量比(日采食量与日增质量的比值)。第 1 次称质量及最后 1 次称质量的同时测量并记录羊的体斜长、体高、胸围及管围的尺寸。

1.4 营养成分表观消化率测定

生长试验结束后,连续 5 d 于 09:00 和 17:00 收集 40 只试验羊粪样,装在收集袋中,称质量后用盐酸固氮,将所有粪样混匀按四分法取样,在 75 ℃ 条件下烘干 48 h 后置于室温下回潮 24 h,粉碎过 40 目筛^[9]。采用酸不溶灰分法(AIA)测定饲料和粪样中的粗蛋白质(CP)、粗灰分(Ash)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)以及钙、磷的含量,得出各营养物质的表观消化率。

1.5 统计分析

利用 SAS 中的 ANOVA 程序进行方差分析,采用 Duncan's 法进行多重比较,结果用平均值±标准误差表示,当 $P < 0.05$ 时,差异显著。

2 结果与分析

2.1 日粮中添加胆碱对湖羊生长性能的影响

2.1.1 日粮中添加不同水平胆碱对湖羊体斜长、体高、胸围及管围的影响 由表 2 可知,4 组试验羊的初始体斜长、体高、胸围以及管围差异均不显著($P > 0.05$)。试验结束后,4 组试验羊的体斜长、体高以及管围差异均不显著($P > 0.05$),但从数值上来看试验羊体斜长随过瘤胃胆碱添加量的增加呈上升趋势,与日粮 A 相比,日粮 B、日粮 C、日粮 D 分别提高了 2.30、1.30、2.01 cm;日粮 B、日粮 C、日粮 D 的试验羊的胸围显著高于日粮 A($P < 0.05$),但日粮 B、日粮 C 和日粮 D 试验羊的胸围差异不显著($P > 0.05$)。日粮 B、日粮 C 和日粮 D 与对照组相比,试验羊胸围分别增加了 3.70、2.15、3.73 cm,分别增长了 5.35%、3.11%、5.40%。这说明,日粮中添加胆碱对湖羊的体斜长、体高、胸围以及管围无负面影响,并且可以增加湖羊的体斜长和胸围。

2.1.2 日粮中添加不同水平胆碱对湖羊日采食量的影响 由表 3 可知,在试验期 1~20 d,日粮 D 的平均日采食量显著低于日粮 B($P < 0.05$),但与日粮 A 和日粮 C 差异不显著($P > 0.05$);在试验期

表 2 不同过瘤胃胆碱添加量对湖羊体斜长、体高、胸围及管围的影响

日粮处理	试验前				试验后			
	体斜长(cm)	体高(cm)	胸围 (cm)	管围 (cm)	体斜长 (cm)	体高 (cm)	胸围 (cm)	管围 (cm)
A	51.60 ± 0.96a	52.40 ± 0.84a	52.30 ± 0.94a	6.85 ± 0.27a	64.10 ± 2.49a	63.15 ± 1.20a	69.10 ± 2.64b	7.35 ± 0.47a
B	52.10 ± 0.81a	52.40 ± 0.84a	52.13 ± 0.98a	6.85 ± 0.37a	66.40 ± 4.38a	63.55 ± 1.01a	72.80 ± 1.48a	7.30 ± 0.35a
C	52.40 ± 0.96a	52.70 ± 0.95a	53.10 ± 0.88a	6.87 ± 0.26a	65.40 ± 1.89a	63.80 ± 1.99a	71.25 ± 2.49a	7.30 ± 0.42a
D	52.80 ± 0.78a	53.22 ± 0.67a	53.00 ± 0.87a	6.78 ± 0.26a	66.11 ± 1.90a	63.56 ± 1.42a	72.83 ± 2.55a	7.44 ± 0.30a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

表 3 不同过瘤胃胆碱添加量对湖羊平均日采食量的影响

日粮处理	平均日采食量(g)			
	1 ~ 20 d	21 ~ 40 d	41 ~ 60 d	1 ~ 60 d
A	1 049.64 ± 148.74ab	1 378.45 ± 135.30b	1 600.10 ± 112.91b	1 339.32 ± 263.84b
B	1 141.20 ± 186.69a	1 569.15 ± 140.12a	1 872.85 ± 121.47a	1 523.76 ± 338.97a
C	1 043.97 ± 148.22ab	1 421.80 ± 127.74b	1 693.55 ± 134.02ab	1 382.24 ± 301.25b
D	992.72 ± 194.62b	1 417.91 ± 165.28b	1 797.04 ± 215.16a	1 398.63 ± 406.92b

21 ~ 40 d,日粮 B 的平均日采食量显著高于日粮 A、日粮 C 和日粮 D($P>0.05$),日粮 A、日粮 C 和日粮 D 的平均日采食量差异不显著($P>0.05$);在试验期 41 ~ 60 d,日粮 B 与日粮 D 的平均日采食量与日粮 C 差异不显著($P>0.05$),但两者显著高于日粮 A($P<0.05$);从全试验期(1 ~ 60 d)的平均日采食量来看,日粮 B 的平均日采食量显著高于日粮 A、日粮 C 和日粮 D($P<0.05$),日粮 A、日粮 C 和日粮 D 的平均日采食量差异不显著($P>0.05$)。

2.1.3 日粮中添加不同水平胆碱对湖羊日增质量的影响 由表 4 可知,在试验期 1 ~ 20 d、21 ~ 40 d,

日粮 C 和日粮 D 的平均日增质量与日粮 A 差异不显著($P>0.05$),日粮 B 的平均日增质量显著高于日粮 A($P<0.05$);在试验期 41 ~ 60 d,4 组日粮的平均日增质量差异均不显著($P>0.05$);从全试验期(1 ~ 60 d)的平均日增质量来看,日粮 C 和日粮 D 的平均日增质量与日粮 A 差异不显著($P>0.05$),日粮 B 的平均日增质量显著高于日粮 A($P<0.05$),日粮 B 的日增质量较对照组(日粮 A)提高了 19.8%。即日粮中添加胆碱未对试验羊的平均日增质量产生不良的影响,其中日粮中添加 0.1% 的胆碱(日粮 B)提高了试验羊的平均日增质量。

表 4 不同过瘤胃胆碱添加量对湖羊日增质量的影响

日粮处理	平均日增质量(g)			
	1 ~ 20 d	21 ~ 41 d	41 ~ 60 d	1 ~ 60 d
A	250.18 ± 75.24b	205.10 ± 44.59b	242.50 ± 53.80a	231.61 ± 60.11b
B	294.53 ± 59.82a	276.17 ± 97.11a	261.60 ± 47.68a	277.47 ± 69.06a
C	260.53 ± 50.49ab	236.44 ± 60.29ab	264.60 ± 59.80a	251.61 ± 57.41ab
D	284.33 ± 85.26ab	219.00 ± 36.75ab	282.56 ± 34.75a	261.96 ± 63.11ab

2.1.4 日粮中添加不同水平胆碱对湖羊料质量比的影响 由表 5 可知,在试验期 1 ~ 20 d,4 组日粮的料质量比差异不显著($P>0.05$);在试验期 21 ~ 40 d,日粮 B 的料质量比显著低于日粮 A、日粮 C 和日粮 D($P<0.05$),日粮 A、日粮 C 和日粮 D 的料质量比差异不显著($P>0.05$);在试验期 41 ~ 60 d,4 组日粮的料质量比差异不显著($P>0.05$);从全试验期(1 ~ 60 d)的料质量比来看,4 组日粮的料质量

比差异不显著($P>0.05$)。即日粮中添加胆碱不影响湖羊的料质量比。但从数值上来看,随着日粮中胆碱水平的增高,试验羊的料质量比有降低的趋势,日粮 B、日粮 C 和日粮 D 较日粮 A 分别降低了 8.12%、21.04%、24.50%。

2.2 日粮中添加不同水平胆碱对湖羊营养物质表观消化率的影响

由表 6 可知,日粮 D 的干物质、粗蛋白表观消

表 5 不同过瘤胃胆碱添加量对湖羊料质量比的影响

日粮处理	料质量比			
	1 ~ 20 d	21 ~ 41 d	41 ~ 60 d	1 ~ 60 d
A	5.01 ± 2.24a	7.08 ± 1.95a	6.54 ± 2.11a	7.51 ± 1.23a
B	4.41 ± 1.06a	4.77 ± 3.74b	7.32 ± 1.34a	6.90 ± 2.76a
C	4.39 ± 0.81a	6.67 ± 2.08a	6.74 ± 1.71a	5.93 ± 1.92a
D	3.90 ± 1.17a	6.63 ± 1.08a	6.48 ± 0.85a	5.67 ± 1.62a

化率显著高于日粮 A、日粮 B 和日粮 C ($P < 0.05$), 日粮 A、日粮 B 和日粮 C 的干物质、粗蛋白表观消化率差异不显著 ($P > 0.05$)。日粮 D 的干物质、粗蛋白表观消化率与日粮 A 相比, 分别提高了 2.88%、11.12%; 日粮 D 的有机物表观消化率显著高于日粮 B 和日粮 C ($P < 0.05$), 但与日粮 A 差异不显著 ($P > 0.05$), 日粮 B 和日粮 C 的有机物表观消化率与日粮 A 差异不显著 ($P > 0.05$); D 组日粮的中性洗涤纤维表观消化率显著高于其他 3 组 ($P < 0.05$); 日粮 C 与日粮 D 的酸性洗涤纤维差异

不显著 ($P > 0.05$), 但两者均显著高于日粮 A 和日粮 B ($P < 0.05$)。日粮 A 和日粮 B 的酸性洗涤纤维差异不显著 ($P > 0.05$); 日粮 D 的钙表观消化率显著高于日粮 A、日粮 B 和日粮 C ($P < 0.05$), 日粮 A、日粮 B 和日粮 C 的钙表观消化率差异不显著 ($P > 0.05$); 日粮 B 和日粮 D 的磷表观消化率显著高于日粮 A, 但与日粮 C 的差异不显著 ($P > 0.05$); 日粮 C 与日粮 A 的磷表观消化率差异不显著 ($P > 0.05$), 日粮 B、日粮 C 和日粮 D 的磷表观消化率差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 6 不同过瘤胃胆碱添加量对湖羊营养物质表观消化率的影响

日粮处理	表观消化率 (%)						
	干物质	有机物	粗蛋白	中性洗涤纤维	酸性洗涤纤维	钙	磷
A	81.67 ± 2.50b	61.28 ± 3.42ab	56.86 ± 2.89b	43.55 ± 6.33b	34.03 ± 2.24b	23.64 ± 5.59b	22.37 ± 8.39b
B	81.90 ± 2.30b	59.82 ± 2.57b	56.81 ± 3.12b	45.41 ± 4.29b	35.06 ± 3.63b	24.56 ± 4.70b	29.94 ± 5.10a
C	81.16 ± 2.24b	59.16 ± 2.76b	57.87 ± 3.75b	45.91 ± 5.28b	42.40 ± 6.67a	24.52 ± 7.59b	26.86 ± 6.36ab
D	84.02 ± 2.11a	63.82 ± 2.05a	63.18 ± 1.63a	47.70 ± 3.38a	43.55 ± 5.17a	37.54 ± 6.06a	29.66 ± 8.09a

3 讨论与结论

成年羊体质量与体长、胸围和管围显著相关^[11-12]。本研究发现胆碱对湖羊体高、体长及管围无显著影响, 但胆碱可以有效提高试验羊的胸围, 这可能与对照日粮中的胆碱缺乏有关。胆碱缺乏会导致动物体内同型半胱氨酸 (HCY) 浓度升高, 影响铜的吸收, 破坏成骨细胞和破骨细胞平衡, 降低骨骼的韧性和弹性, 引起骨骼发育不良^[13-16]。幼龄动物几乎没有体内合成胆碱的功能, 往往需要在饲料中额外添加胆碱以满足其快速生长的需求。

研究表明, 日粮中添加过瘤胃胆碱可显著提高动物日采食量, 但不同过瘤胃胆碱添加水平对日采食量无显著影响^[17-18]。本研究中添加 0.1% 过瘤胃胆碱对试验全期湖羊平均日采食量具有显著提高效果, 而 0.2%、0.4% 过瘤胃胆碱组只在 41 ~ 60 d 显著提高湖羊的日采食量, 原因可能在于育肥早期动物个体较小, 较低剂量的过瘤胃胆碱添加即可满足动物生长的需求, 而随着动物体质量的增加, 胆

碱的需求量逐步增高。李华伟的研究结果表明, 胆碱可显著提高 3 ~ 5 月龄肉羊采食量、日增质量和料肉比, 但对 10 ~ 12 月龄肉羊的采食量、日增质量和料肉比无显著影响^[19]。胆碱可以作为体内不稳定甲基供体, 节约部分蛋氨酸, 促进机体蛋白质合成, 提升饲料转化率, 改善动物生产性能^[20]。在本试验中, 日粮中添加过瘤胃胆碱的试验湖羊的日增质量显著高于对照日粮, 其中 0.1% 添加量效果最为显著。试验组湖羊的料质量比随着胆碱添加水平的升高而降低。这表明育肥湖羊日粮中添加过瘤胃胆碱能够有效提升日增质量, 降低料质量比。

研究发现, 在奶牛日粮中添加过瘤胃胆碱可有效改善奶牛对营养物质的表观消化率^[21]; 胆碱添加到肉鸡饲料中对其干物质、粗蛋白和粗脂肪的表观消化率有显著提升效果; 在青农灰鹅日粮中添加胆碱可以提高其 Ca、P、NDF 及 ADF 的表观消化率^[22-23]。但也有研究表明, 在 1 ~ 3 月龄湖羊日粮中添加不同水平的过瘤胃胆碱对其营养物质表观消化率均无显著影响^[24]。本试验结果表明, 饲料中

添加过瘤胃胆碱,可以提高湖羊对饲料的营养物质消化率,其中以日粮中添加 0.4% 过瘤胃胆碱的效果最为明显。反刍动物日粮中的纤维素在为瘤胃微生物的生长提供能量和维持胃肠道健康等方面发挥重要作用^[25-26]。反刍动物对饲料纤维素的利用能力可以通过中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维消化率来反映^[27]。本试验日粮 A 的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率较低,与其干物质和有机物表观消化率较低一致。这可能是因为日粮中添加过瘤胃胆碱改变了胃肠道微生物的组成,从而提高了粗纤维的表观消化率。钙、磷对反刍动物生长具有重要的作用,它们通过维持瘤胃内微生物的活性,进而影响瘤胃对饲料的消化能力^[28]。磷不仅参与细胞膜结构中磷脂类的组成,还可以促进反刍动物瘤胃微生物的活动,改善瘤胃内环境,提高粗纤维的消化率^[29]。当瘤胃内磷浓度过低会导致瘤胃内微生物生长受到抑制,影响动物对纤维的消化能力^[30]。由试验结果可知,日粮中添加过瘤胃胆碱对 Ca、P 的表观消化率具有促进作用,以 0.4% 的添加比例效果最为明显。原因可能是因为随着日粮中过瘤胃胆碱添加比例的增加,湖羊胸围和体质量加速增长,骨骼构架和肌肉组织快速发育,对 Ca、P 需求量加大,进而提高了 Ca、P 的表观消化率。

日粮添加不同比例过瘤胃胆碱对湖羊的生长性能以及营养物质消化率存在不同程度的影响,其中,以 0.4% 添加组对提高湖羊的生长性能以及营养物质消化率方面具有较好的效果。

参考文献:

- [1] Zeisel S H, Da Costa K A. Choline: an essential nutrient for public health[J]. *Nutrition Reviews*, 2009, 67(11): 615–623.
- [2] Lombardi B, Pani P, Schlunk F F. Choline – deficiency fatty liver: impaired release of hepatic triglycerides [J]. *Journal of Lipid Research*, 1968, 9(4): 437–446.
- [3] Xu G Z, Ye J A, Liu J X, et al. Effect of rumen – protected choline addition on milk performance and blood metabolic parameters in transition dairy cows [J]. *Asian Australasian Journal of Animal Science*, 2006, 19(3): 390–395.
- [4] Bindel D J, Titgemeyer E C, Drouillard J S, et al. Effects of choline on blood metabolites associated with lipid metabolism and digestion by steers fed corn – based diets [J]. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(7): 1625–1632.
- [5] Bindel D J, Drouillard J S, Titgemeyer E C, et al. Effects of ruminally protected choline and dietary fat on performance and blood metabolites of finishing heifers [J]. *Journal of Animal Science*, 2000, 78(10): 2497–2503.
- [6] 郑家三, 夏成, 张洪友, 等. 过瘤胃胆碱对围产期奶牛生产性能和能量代谢的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(3): 114–120.
- [7] Pinotti L, Campagnoli A, Sangalli L, et al. Metabolism in periparturient dairy cows fed rumen – protected choline [J]. *Journal of Animal & Feed Sciences*, 2004, 13(Suppl 1): 551–554.
- [8] Hartwell J R, Cecava M J, Donkin S S. Impact of dietary rumen undegradable protein and rumen – protected choline on intake, peripartum liver triacylglyceride, plasma metabolites and milk production in transition dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2000, 83(12): 2907–2917.
- [9] Bryant T C, Rivera J D, Galyean M L, et al. Effects of dietary level of ruminally protected choline on performance and carcass characteristics of finishing beef steers and on growth and serum metabolites in lambs [J]. *Journal of Animal Science*, 1999, 77(11): 2893–2903.
- [10] 程春梅. 胆碱与维生素 E 对肉牛生产性能影响的营养调控研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [11] 周爱民, 王育伟, 张晓晖, 等. 北川白山羊母羊体重与体尺性状的相关及回归分析[J]. *当代畜牧*, 2020(6): 29–32.
- [12] 陶林, 杨红远, 江炎庭, 等. 云上黑山羊体重与成年性状的典型相关分析[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(11): 108–112.
- [13] 闻治国, 唐静, 谢明, 等. 胆碱缺乏对家禽健康和生长的影响及其机理[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(9): 2445–2450.
- [14] Lee J E, Jacques P F, Dougherty L, et al. Are dietary choline and betaine intakes determinants of total homocysteine concentration? [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2010, 91(5): 1303–1310.
- [15] Vacek T P, Kalani A, Voor M J, et al. The role of homocysteine in bone remodeling [J]. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 2013, 51(3): 579–590.
- [16] 欧阳五庆. 动物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [17] 张彩霞, 李福昌, 李冰, 等. 饲料胆碱水平对 3~5 月龄獭兔生长性能、血清生化指标、盲肠发酵及毛皮质量的影响[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(4): 989–995.
- [18] 陈东东, 王春维. 过瘤胃氯化胆碱对山羊生长性能和血液生化指标的影响[J]. *饲料工业*, 2008, 29(21): 31–33.
- [19] 李华伟. 过瘤胃胆碱对肉羊脂肪代谢和肌内脂肪形成的调控作用及分子机制[D]. 扬州: 扬州大学, 2017.
- [20] Leiva T, Cooke R F, Brandão A P, et al. Effects of rumen – protected choline supplementation on metabolic and performance responses of transition dairy cows [J]. *Journal of Animal Science*, 2015, 93(4): 1896–1904.
- [21] Wang C, Liu Q, Yang W Z, et al. Effects of betaine supplementation on rumen fermentation, lactation performance, feed digestibilities and plasma characteristics in dairy cows [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 2010, 148(4): 487–495.
- [22] 张文旭, 王宝维, 葛文华, 等. 饲料添加胆碱对鹅生长性能、屠宰性能及养分表观利用率的影响[J]. *动物营养学报*, 2013, 25(4): 778–784.
- [23] 郭吉余, 林映才, 蒋守群, 等. 大豆磷脂与胆碱对黄羽肉鸡生长性能、胴体品质、营养消化率、血清指标的影响[C]//第四届全

马芳,周明旭,张金秋,等. 苏北地区奶牛场无乳链球菌分离株毒力分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(5):142-149.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.05.027

苏北地区奶牛场无乳链球菌分离株毒力分析

马芳^{1,2,3},周明旭^{1,2},张金秋^{1,2},杨世芳^{1,2},卢宇^{1,2},邓碧华^{1,2}

(1. 江苏省食品安全重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地/江苏省农业科学院动物免疫工程研究所/
国家兽用生物制品工程技术研究中心,江苏南京 210014;

2. 江苏省动物重要疾病与人畜共患病防控协同创新中心,江苏扬州 225009; 3. 江苏大学食品与生物工程学院,江苏镇江 212013)

摘要:奶牛乳腺炎导致奶牛产奶量下降和乳制品质量降低,是奶牛养殖业重要的经济性疾病,在全球范围内造成巨大经济损失。选取苏北奶牛场 3 株代表性无乳链球菌分离株,SAG-FX17 分离自临床型乳腺炎、CM31 分离自隐性乳腺炎和 CM41b 分离自隐性发展为临床型乳腺炎奶牛乳汁,研究比较 3 株细菌生长特性、毒力因子分布、形成生物被膜能力及其对奶牛乳腺上皮细胞的黏附、侵袭和胞内存活能力。试验结果表明,3 株分离株血清型均为 I a 型,2b 型菌毛,*gapC* 基因和 *cylE* 基因阳性,但仅 SAG-FX17 的 α 相关蛋白家族为 Alp1 型,其他 2 株为未定型。研究发现 SAG-FX17 与奶牛乳腺上皮细胞(Mac-T)共孵育时生成生物被膜能力明显增强,且该菌对 Mac-T 细胞黏附率为 52.5%,显著高于 CM31 和 CM41b。侵袭试验结果表明,3 株细菌侵袭到细菌内部的能力很低,但侵袭到细胞内的细菌具有一定存活能力,侵入细胞 4 h 3 株分离株 SAG-FX17、CM31、CM41b 存活率分别为 24%、18%、86.7%。综上所述,无乳链球菌在奶牛乳腺上皮细胞表面形成生物被膜及其在胞内存活能力是影响细菌致病性的重要因素。

关键词:无乳链球菌;毒力因子;生物被膜;黏附;胞内存活能力;奶牛场;苏北地区

中图分类号:S852.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)05-0142-08

奶牛乳腺炎是奶牛最常发病、治疗费用最高的疾病,全世界约有 1/3 奶牛患有乳腺炎,导致牛奶产量和质量严重下降,造成巨大经济损失^[1-2]。奶牛乳腺炎根据症状分为临床型乳腺炎和隐性乳腺炎。临床型乳腺炎发病急、症状明显;隐性乳腺炎一般难以直接观察到临床感染症状,不能及时隔离、治疗,容易被忽视,但其具备转化为临床型乳腺炎的风

险,给奶牛养殖业带来严重影响^[3]。

奶牛乳腺炎的致病因素包括病原体、宿主和环境因素,其中细菌乳腺内感染为最主要因素^[4]。宿主与病原微生物互相作用结果的不同,细菌感染引起乳腺炎临床表现不同,如金黄色葡萄球菌黏附侵袭到宿主细胞内部并逃避宿主先天性免疫反应,易导致隐性乳腺炎;大肠杆菌感染后大量增殖释放毒素引起宿主细胞因子释放,易导致临床型乳腺炎^[5]。葡萄球菌和链球菌是导致奶牛乳腺炎最常见的和造成经济损失最大的致病菌,无乳链球菌虽然只在乳腺组织内生长和增殖,但该菌可以在乳腺组织外短时间存活,同时通常会导致隐性乳腺炎,因此牛场一旦感染,极易导致该菌传播扩散^[6]。1887 年无乳链球菌作为奶牛乳腺炎致病菌首次被

收稿日期:2020-12-01

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(编号:31902243)。

作者简介:马芳(1990—),女,山东莱芜人,博士,助理研究员,主要从事链球菌致病机制和免疫增强剂方面研究。E-mail:20180042@jaas.ac.cn。

通信作者:邓碧华,硕士,副研究员,主要从事疫苗佐剂方面研究。E-mail:dengbihua2000@163.com。

国饲料营养学术研讨会论文集,2002。

[24]姜贝贝,李华伟,王洪荣. 过瘤胃保护甜菜碱和过瘤胃保护胆碱对 1~3 月龄湖羊生长性能、消化性能、屠宰性能和脂肪沉积的影响[J]. 动物营养学报,2017,29(5):1785-1791。

[25]王炳,申军士,叶均安,等. 奶牛日粮中物理有效中性洗涤纤维作用的研究进展[J]. 中国畜牧杂志,2013,49(19):91-96。

[26]张幸开,乌日金. 日粮纤维在奶牛营养中的应用[J]. 中国奶牛,2011(17):43-46。

[27]楼灿,姜成钢,马涛,等. 饲养水平对肉用绵羊妊娠期消化代谢的影响[J]. 动物营养学报,2014,26(1):134-143。

[28]Durand M,Kawashima R. Influence of minerals in rumen microbial digestion[M]. Berlin:Springer,1980。

[29]Durand M,Komisarczuk S. Influence of major minerals on rumen microbiota[J]. The Journal of Nutrition,1988,118(2):249-260。

[30]赵天章,李慧英,闫素梅. 反刍动物饲料纤维物质瘤胃降解规律研究进展[J]. 畜牧与饲料科学,2011,31(9):158-160,164。