

N-氨甲酰谷氨酸对荷藏杂交牛产奶性能和高原适应性的影响

姜奥宇^{1,2} 巴桑珠扎³ 李 斌³ 吴祎程^{1,2} 彭锦芬^{1,2} 吕小康^{1,2}
刘梓欣^{1,2} 黄喜妹⁴ 周传社^{1,2*} 陈 亮^{5*} 谭支良^{1,2}

(1.中国科学院亚热带农业生态研究所,中国科学院亚热带农业生态过程重点实验室,畜禽养殖污染控制与资源化技术国家工程实验室,动物营养生理与代谢过程湖南省重点实验室,长沙 410125;2.中国科学院大学,北京 100049;3.西藏自治区农牧科学院畜牧兽医研究所,拉萨 850000;4.中山市能和生物科技有限公司,中山 528415;5.沈阳农业大学乡村振兴战略研究院,沈阳 110866)

摘要: 本试验旨在研究高海拔低氧环境中饲喂 N-氨甲酰谷氨酸(NCG)对奶牛养分表观消化率、泌乳性能、瘤胃发酵参数、血清生化指标、抗氧化指标以及抗高原反应指标的影响。选用胎次、体重、产奶量和体况评分相近的 20 头泌乳前期荷斯坦奶牛×西藏黄牛杂交第 3 代奶牛,随机分为 2 组,每组 10 头。对照组(CON 组)饲喂基础饲料, NCG 组在基础饲料中添加 20 g/(头·d) NCG。试验期 45 d,其中预试期 15 d,正试期 30 d。结果表明:1) NCG 组 4% 乳脂校正乳和饲料转化率比 CON 组分别提高 39.35% 和 54.16% ($P < 0.05$)。2) 与 CON 组相比, NCG 组产奶量和乳总固形物含量显著提升 ($P < 0.05$), 乳尿素氮含量降低 19.61% ($P = 0.13$), 乳脂率提高 8.53% ($P = 0.13$)。3) 与 CON 组相比, NCG 组瘤胃液中的氨态氮($\text{NH}_3\text{-N}$)含量降低 38.11% ($P < 0.05$), 微生物蛋白质含量提高 12.43% ($P < 0.05$), 同时乙酸/丙酸比值具有升高的趋势 ($P = 0.07$)。4) NCG 组血清总胆固醇含量和谷丙转氨酶活性相较于 CON 组显著降低 ($P < 0.05$), 血清甘油三酯含量相较于 CON 组显著提高 ($P < 0.05$)。5) 与 CON 组相比, NCG 组血清谷胱甘肽过氧化物酶与超氧化物歧化酶活性以及总抗氧化能力显著升高 ($P < 0.05$), 丙二醛和活性氧含量显著降低 ($P < 0.05$)。6) 与 CON 组相比, 饲料中补充 NCG 可显著提高奶牛血清中血管内皮生长因子与一氧化氮含量 ($P < 0.05$), 提高血清内皮型一氧化氮合酶与诱导型一氧化氮合酶活性 ($P < 0.05$)。综上所述, 饲料中添加 NCG 能够提高高海拔低氧环境中奶牛的泌乳性能、抗氧化以及抗高原反应能力, 改善机体肝脏代谢以及氮素循环。

关键词: N-氨甲酰谷氨酸; 荷藏杂交牛; 泌乳性能; 抗氧化; 抗高原反应

中图分类号: S823

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2022)09-5879-12

西藏地区高寒、低氧,基础物资十分匮乏,酥油(主要成分为乳脂)含有多种营养物质,是藏族人民的生活必需品。2019 年,西藏自治区奶牛存栏约 44.02 万头,但产奶量仅为 42.39 万 t,鲜奶缺口约 7.59 万 t,奶牛品种原始以及单产不足的问题

已严重制约西藏地区奶业发展。对此,西藏地区自 2014 年开始引进区外良种奶牛,但实际生产中发现,高海拔低氧环境中的良种奶牛易出现脂质和糖类代谢紊乱等问题,从而导致高原病的产生和恶化^[1]。高原病常见于海拔 2 000 m 以上地区

收稿日期:2022-03-31

基金项目:湖南创新型省份建设专项(2020WK4002);西藏自治区科技计划重大专项(XZ202101ZD003N)

作者简介:姜奥宇(1999—),男,湖南岳阳人,硕士研究生,动物营养与饲料科学专业。E-mail: 1348059711@qq.com

* 通信作者:周传社,研究员,博士生导师,E-mail: zcs@isa.ac.cn;陈 亮,讲师,E-mail: cl2021@syau.edu.cn

的奶牛群体,氧气浓度降低诱发奶牛肺动脉高压,进而导致胸部水肿和心衰竭等病变影响机体健康。研究表明,引进到拉萨地区的荷斯坦奶牛高原病致死率为36.72%,并且冬季空气中氧浓度降低与奶牛高死亡率存在相关性^[2],严重阻碍西藏地区奶业发展,因此防控奶牛高原病,提升其适应性尤为重要。

精氨酸(Arg)作为一种条件性必需氨基酸和多功能性氨基酸,不仅可以调控乳腺上皮细胞增殖以及酪蛋白合成过程,而且在精氨酸酶作用下可水解成尿酸和鸟氨酸,参与多胺的合成^[3]。除此之外,作为体内合成一氧化氮(NO)的唯一前体,Arg可通过多环鸟苷-3',5'-单磷酸依赖通路促进线粒体的氧化磷酸化反应,从而调节动物机体的葡萄糖、脂肪酸和氨基酸代谢^[4]。但Arg直接添加到饲料中,不仅成本高,而且易与赖氨酸在转运系统以及代谢通路中产生拮抗反应^[5]。N-乙酰谷氨酸(N-acetylglutamate, NAG)是一种氨基酸衍生物,可通过激活氨基甲酰磷酸合成酶-I(CPS-I)促进氨基甲酰磷酸合成,促进L-脯氨酸和谷氨酸转化为L-瓜氨酸,在天冬氨酸以及精氨酸代琥珀酸裂解酶的参与下,最终转化成L-Arg^[6]。N-羧甲酰谷氨酸(N-carbamylglutamate, NCG)作为NAG的结构类似物,其功能与NAG相似,而且在机体代谢中稳定性较强,可以参与尿素循环来促进内源性Arg生成。Chacher等^[7]通过24h体外发酵试验发现,相比于Arg在瘤胃液环境中完全降解,NCG降解率仅为17.8%。因此,NCG作为稳定高效的添加剂,其在奶牛生产中的应用受到广泛关注。

Chacher等^[8]研究发现,高产奶牛饲料中添加20g/d NCG时,乳、血浆和尿液中的尿素氮含量达到最低值,代谢蛋白质利用率提高。从围产前期开始饲喂NCG可以促进奶牛机体内源性Arg合成,显著提高乳腺血浆流量和氨基酸含量,改善围产后期奶牛肝脏功能和干物质采食量(DMI)^[9]。Gu等^[10]在泌乳中期奶牛饲料中添加40g/(头·d) NCG时,乳脂和乳蛋白含量分别提高7.89%和3.31%,血浆中内源性Arg合成的增强导致必需氨基酸和生糖氨基酸总量提高,使得乳品质得到明显改善。另有学者发现,NCG在围产期奶牛中应用效果最佳,其次为泌乳高峰期、泌乳早期和泌乳中期^[11]。然而,NCG在奶牛上的研究

主要集中在低海拔地区泌乳期和围产期奶牛上,针对NCG在高海拔低氧环境中奶牛的研究比较少见。

在高海拔低氧环境中,奶牛抗炎以及葡萄糖和脂质代谢相关基因表达下调,盲肠与结肠中厚壁菌门/拟杆菌门降低,导致机体糖类和脂类代谢异常,能量供应不足,同时诱发奶牛体内炎症反应,加剧高原病恶化^[1]。因此,奶牛转移到高原环境后需要提高其血液供氧能力,预防心血管系统障碍及其诱发的其他系统疾病,保障奶牛机体健康以维持正常泌乳水平。作为高效的血管舒张因子,NO早已被证实可抑制肺动脉血管收缩,提升高原肺水肿大鼠的存活率^[12]。NCG可以促进内皮型一氧化氮合酶(endothelial nitric oxide synthase, eNOS)的合成,增加血浆中NO含量,进而改善肺血管壁结构,有效降低奶牛肺血管压力和心脏负荷^[13]。因此,本研究旨在评价在泌乳期奶牛饲料中添加NCG对奶牛养分表观消化率、泌乳性能、血清抗氧化以及抗高原反应指标的影响,为提升高海拔地区泌乳奶牛的生产性能提供科学依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验设计

试验选择20头泌乳前期荷斯坦奶牛×西藏黄牛杂交第3代奶牛[胎次 2.0 ± 0.7 ,体重 (413 ± 42) kg,体况评分 3.36 ± 0.26],随机分为2组,每组10头。对照组(CON组)饲喂基础饲料,试验组(NCG组)在基础饲料中添加20g/(头·d) NCG(中山市某生物科技有限公司,含量 $\geq 80\%$)。试验期45d,其中预试期15d,正试期30d。试验于2021年6月12日至2021年7月25日在西藏自治区山南市巴桑奶牛养殖专业合作社(海拔3700m)进行。

1.2 饲料与饲养管理

基础饲料为合作社固定饲料,以精料混合料以及粗饲料形式(精:粗=1:9)分开饲喂,基础饲料组成及营养水平如表1所示。试验奶牛采用栓系式饲养,饲喂前将NCG与精料混合料预混合,然后与1/3粗饲料进行混合饲喂,每天饲喂2次(07:00和18:00),挤奶2次(06:30和17:00),奶牛自由采食及饮水,剩料量控制在3%~5%,称取每日给料量和剩料量,用于计算DMI。

表 1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米青贮 Corn silage	62.50
小麦草 Wheat grass	20.83
苜蓿 Alfalfa hay	8.33
燕麦 Oat	0.92
小麦麸 Wheat bran	0.75
干酒糟及其可溶物 DDGS	0.67
玉米 Corn	4.37
豆粕 Soybean meal	0.50
棉籽粕 Cottonseed meal	0.42
预混料 Premix ¹⁾	0.63
食盐 NaCl	0.08
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
粗蛋白质 CP	6.96
粗脂肪 EE	4.84
中性洗涤纤维 NDF	51.99
酸性洗涤纤维 ADF	24.35
产奶净能 NE _L /(MJ/kg)	5.15
钙 Ca	0.55
磷 P	0.26

1) 每千克预混料含有 One kilogram of premix contained the following: Fe 4 500 mg, Cu 1 600 mg, Mn 3 000 mg, Zn 5 500 mg, Se 30 mg, Co 20 mg, I 30 mg, VA 600 000 IU, VD 200 000 IU, VE 200 IU。

2) 产奶净能为计算值,其他营养水平为实测值。NE_L was a calculated value, while the other nutrient levels were measured values.

1.3 样品采集与检测指标

1.3.1 饲料和粪便中养分含量

在正试期第 28~30 天,采用直肠取粪法连续收集 2 组奶牛粪样 6 次,最后将每头牛的粪样均匀混合后取 200 g 左右,按照 1/4 粪重比例加入 10% 的酒石酸进行固氮,用于测定粪中养分和酸不溶灰分(AIA)含量。将饲料和粪便样品置于 65 ℃ 烘箱干燥 72 h 后,取出样品自然回潮 24 h,随后将样品放入 105 ℃ 烘箱直至恒重,取 200 g 样品粉碎后通过 1 mm 筛。饲料和粪便中干物质(DM)、粗蛋白质(CP)、粗脂肪(EE)和粗灰分含量分别按照 GB/T 6435—2014、GB/T 6432—2018、GB/T 6433—2006、GB 6438—2007 方法进行测定,钙(Ca)含量按照 GB/T 6436—2002 的高锰酸钾法

进行测定,磷(P)含量按照 GB/T 6437—2002 的分光光度法进行测定,中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量分别按照 GB/T 20806—2006 和 NY/T 1459—2007 的方法进行测定。参照 Van Keulen 等^[14]提供的方法,利用粪和饲料中的 AIA 做内源指示剂,计算养分表观消化率,计算公式如下:

$$\text{养分表观消化率}(\%) = 100 \times [1 - (Ad \times Nf) / (Af \times Nd)]$$

式中:Ad 和 Af 分别为饲料和粪中的 AIA 含量(g/kg);Nd 和 Nf 分别为饲料和粪中某养分含量(g/kg)。

1.3.2 乳品质

在正试期第 30 天,在挤奶时间点分别采集奶样 1 次,将早、晚采集的奶样按 5:5 混合,取 50 mL 加重铬酸钾防腐剂混合均匀,样品使用 Milko Scan FT+200 76150 型多功能乳成分分析仪(丹麦 Foss Electric 公司)进行检测,测定指标包括乳蛋白率、乳脂率、乳糖率及乳尿素氮、总固形物以及非脂乳固体含量,乳体细胞数量使用 Fossomatic FC 79910 体细胞分析仪(丹麦 Foss Electric 公司)测定。4% 乳脂校正乳(FCM)产量计算公式^[15]如下:

$$4\% \text{乳脂校正乳} = M \times (0.4 + 0.15F)$$

式中:M 为产奶量;F 为乳脂率。

1.3.3 瘤胃发酵参数

在正试期第 30 天,在试验奶牛喂后 2 和 6 h,使用 MDW-15 型胃管式瘤胃液采样器(中国上海硅狄科学仪器有限公司)通过奶牛口腔采集瘤胃液。将采集的瘤胃液装入 10 mL 离心管,使用 UB-7 型 pH 计(美国 Denver Instrument 公司)测定瘤胃液 pH 后,迅速放入 -20 ℃ 冰箱保存,用于测定瘤胃液中氨态氮(NH₃-N)含量。另取瘤胃液,4 ℃ 下 15 000×g 离心 10 min,取上清液 1.5 mL,加入 0.15 mL 25% 偏磷酸固定后置于 -20 ℃ 冰箱保存,用于测定总挥发性脂肪酸(TVFA)及各挥发性脂肪酸(VFA)含量,瘤胃液中 NH₃-N 和 VFA 含量分别参照 Wang 等^[16]和 Weatherburn 等^[17]方法测定。瘤胃液中微生物蛋白质(MCP)含量使用紫外分光光度计(UV1901,波长:260 nm)参照 Zinn 等^[18]分光光度法进行测定。

1.3.4 血清生化与抗氧化指标

在正试期第 29~30 天,连续 2 d 于晨饲前使用真空采血管进行尾根静脉采血 10 mL,4 ℃ 下

2 040×g 离心 15 min,取 2 mL 上层血清于离心管中,置于-20 °C 冰箱保存。

血清生化指标:血清葡萄糖(GLU)、白蛋白(ALB)、尿素氮(UN)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TCHO)含量和谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)活性采用 CX-4 型全自动生化分析仪(美国 Beckman 公司)测定,所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

血清抗氧化指标:血清过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、超氧化物歧化酶(SOD)活性分别采用相应的酶联免疫吸附测定(ELISA)试剂盒(中国江苏酶免实业有限公司)测定,测定方法参照试剂盒说明书;血清丙二醛(MDA)含量和总抗氧化能力(T-AOC)采用北京盒子生工科技有限公司对应试剂盒测定,测定方法参照试剂盒说明书;活性氧(ROS)含量采用荧光探针 DCFH-DA 技术进行检测,所用试剂盒购自上海碧云天生物技术有限公司。

1.3.5 血清抗高原反应因子

血清促红细胞生成素(EPO)、低氧诱导因子-1(HIF-1)、血管内皮生长因子(VEGF)、内皮

素-1(ET-1)、C 型利钠肽(CNP)含量和血管紧张素转化酶(ACE)、eNOS、诱导型一氧化氮合酶(iNOS)活性分别使用相应的 ELISA 试剂盒(中国江苏酶免实业有限公司)测定,测定方法参照试剂盒说明书;血清 NO 含量采用北京盒子生工科技有限公司对应试剂盒测定,测定方法参照试剂盒说明书。

1.4 数据统计分析

数据经 Excel 2010 初步处理,使用 SPSS 26.0 软件中的独立样本 *t* 检验进行组间差异显著性比较, $P<0.05$ 和 $0.05\leq P<0.10$ 分别表示具有显著差异和差异趋势,结果以平均值和均值标准误(SEM)表示。

2 结果

2.1 DMI 和养分表观消化率

由表 2 可知,NCG 组 4% FCM 和饲料转化率比 CON 组分别提高 39.35% 和 54.16% ($P<0.05$),但 NCG 组和 CON 组 DM、CP、EE、NDF、ADF 表观消化率以及 DMI 均无显著差异 ($P>0.05$)。

表 2 NCG 对奶牛 DMI 和养分表观消化率的影响

Table 2 Effects of NCG on DMI and nutrient apparent digestibility of dairy cows

项目 Items	NCG 组 NCG group	对照组 CON group	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
干物质采食量 DMI/(kg/d)	14.82	14.99	0.44	0.70
4% 乳脂校正乳 4% FCM/(kg/d)	9.49 ^a	6.81 ^b	0.60	0.02
饲料转化率 Feed conversion rate/%	68.63 ^a	44.52 ^b	4.68	<0.01
干物质表观消化率 DM apparent digestibility/%	92.88	92.92	0.35	0.91
粗蛋白质表观消化率 CP apparent digestibility/%	76.63	75.97	0.71	0.36
粗脂肪表观消化率 EE apparent digestibility/%	66.80	67.39	1.60	0.71
中性洗涤纤维表观消化率 NDF apparent digestibility/%	70.01	69.22	0.95	0.41
酸性洗涤纤维表观消化率 ADF apparent digestibility/%	73.22	73.57	0.72	0.63

同行数据肩标无字母表示差异不显著 ($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

In the same row, values with no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 泌乳性能

由表 3 可知,NCG 组产奶量和乳总固形物含量显著高于 CON 组 ($P<0.05$),CON 组乳糖率相较于 NCG 组具有升高的趋势 ($0.05<P<0.10$),NCG 组与 CON 组间乳脂率、乳蛋白率、乳尿素氮含量、乳体细胞数量以及非脂乳固体含量均无显

著差异 ($P>0.05$),但 NCG 组乳尿素氮含量相较于 CON 组降低 19.61%,乳脂率相较于 CON 组提高 8.53%。

2.3 瘤胃发酵参数

由表 4 可知,与 CON 组相比,NCG 组瘤胃液 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量降低 38.11% ($P<0.05$),同时 MCP 含

量提高 12.43% ($P < 0.05$), 异戊酸含量显著降低 ($P < 0.05$), 异丁酸含量具有降低的趋势 ($P = 0.07$), 而乙酸/丙酸具有升高的趋势 ($P = 0.07$)。

2 组试验奶牛瘤胃液 TVFA、乙酸、丙酸、丁酸、戊酸含量以及 pH 均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 3 NCG 对奶牛泌乳性能的影响

Table 3 Effects of NCG on milk performance of dairy cows

项目 Items	NCG 组 NCG group	对照组 CON group	SEM	P 值 P-value
产奶量 Milk yield/(kg/d)	9.66 ^a	7.04 ^b	0.44	0.01
乳脂率 Milk fat percentage/%	4.20	3.87	0.11	0.13
乳糖率 Milk lactose percentage/%	4.68	5.00	0.09	0.09
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	2.87	2.82	0.06	0.72
乳尿素氮含量 Milk urea nitrogen content/(mg/mL)	9.84	12.24	0.69	0.13
乳体细胞数量 Milk SCC number/($\times 10^3$ 个/mL)	48.33	53.17	7.23	0.76
总固形物含量 Total solids content/%	13.29 ^a	9.34 ^b	0.50	<0.01
非脂乳固体含量 Non-fat milk solid content/%	8.72	8.92	0.08	0.25

表 4 NCG 对奶牛瘤胃发酵参数的影响

Table 4 Effects of NCG on rumen fermentation parameters of dairy cows

项目 Items	NCG 组 NCG group	对照组 CON group	SEM	P 值 P-value
总挥发性脂肪酸 TVFA/(mmol/L)	55.80	59.00	4.45	0.48
乙酸 Acetic acid/(mmol/L)	34.16	34.55	1.21	0.87
丙酸 Propionic acid/(mmol/L)	11.20	13.05	0.54	0.11
丁酸 Butyric acid/(mmol/L)	8.08	9.22	0.48	0.25
异丁酸 Isobutyric acid/(mmol/L)	0.61	0.68	0.02	0.07
戊酸 Valeric acid/(mmol/L)	0.70	0.74	0.05	0.71
异戊酸 Isovaleric acid/(mmol/L)	0.93 ^b	1.29 ^a	0.09	0.04
乙酸/丙酸 Acetic/propionic	3.12	2.80	0.17	0.07
pH	6.93	6.85	0.05	0.42
氨态氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ /(mg/dL)	6.09 ^b	9.84 ^a	0.66	<0.01
微生物蛋白质 MCP/(mg/mL)	1.90 ^a	1.69 ^b	0.04	0.01

2.4 血清生化指标

由表 5 可知, 与 CON 组相比, NCG 组血清 TCHO 含量和 ALT 活性分别降低 25.78% 和

15.62% ($P < 0.05$), TG 含量显著升高 ($P < 0.05$), 2 组间血清 GLU、ALB、UN 含量和 AST 活性均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 5 NCG 对奶牛血清生化指标的影响

Table 5 Effects of NCG on serum biochemical indices of dairy cows

项目 Items	NCG 组 NCG group	对照组 CON group	SEM	P 值 P-value
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	3.86	3.61	0.09	0.19
白蛋白 ALB/(g/L)	42.27	42.77	0.43	0.57
尿素氮 UN/(mmol/L)	2.77	2.91	0.12	0.56
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.20 ^a	0.15 ^b	0.01	0.03
总胆固醇 TCHO/(mmol/L)	3.34 ^b	4.50 ^a	0.22	<0.01
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	23.66 ^b	28.04 ^a	1.04	0.03
谷草转氨酶 AST/(U/L)	54.33	50.56	2.15	0.39

2.5 血清抗氧化指标

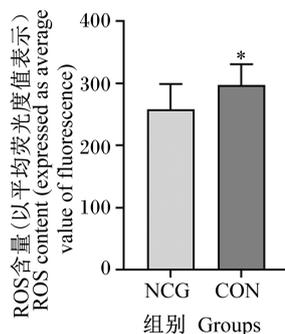
由表6和图1可知,与CON组相比, NCG组血清GSH-Px、SOD活性以及T-AOC显著升高

($P < 0.05$),同时血清MDA含量显著降低($P < 0.05$), ROS含量显著降低($P < 0.05$), 2组间血清CAT活性无显著差异($P > 0.05$)。

表6 NCG对奶牛血清抗氧化指标的影响

Table 6 Effects of NCG on serum antioxidant indices of dairy cows

项目 Items	NCG组 NCG group	对照组 CON group	SEM	P值 P-value
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	99.93	91.38	2.81	0.13
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	819.25 ^a	698.69 ^b	21.28	<0.01
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	165.81 ^a	131.26 ^b	4.60	<0.01
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	6.14 ^b	8.98 ^a	0.44	<0.01
总抗氧化能力 T-AOC/(μ mol/mL)	0.57 ^a	0.44 ^b	0.02	<0.01



* 表示与CON组相比差异显著($P < 0.05$)。

* mean significant difference compared with the CON group ($P < 0.05$).

图1 NCG对奶牛血清ROS含量的影响

Fig.1 Effects of NCG on serum ROS content of dairy cows

2.6 血清抗高原反应因子

由表7可知, NCG组血清VEGF、NO含量以及eNOS、iNOS活性显著高于CON组($P < 0.05$), 2组间血清EPO、HIF-1、ACE、ET-1和CNP含量无显著差异($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 NCG对奶牛DMI和养分表观消化率的影响

在海拔3600m左右的拉萨地区,大气中氧分压仅为海平面的60%,奶牛由于供氧不足导致心率增加,平均呼吸频率和血氧饱和度低于健康水平,平均肺动脉压力陡增至健康水平近2倍,奶牛的生理机能面临严峻考验^[1]。Qiao等^[19]研究表明,高原地区的泌乳前期中国荷斯坦奶牛平均DMI为16.08kg,而且DMI以及各养分消化率与

低海拔地区奶牛相比无显著差异。与此同时,任利圆^[20]在平原地区饲喂奶牛不同剂量NCG发现,各养分表观消化率相较于对照组有所增加但差异不显著。本试验中,2组奶牛DMI以及各养分表观消化率无显著差异,这可能是因为饲料粗纤维水平较高,奶牛采食后瘤胃降解速率降低,容易产生饱腹感^[21]。这些数据表明,奶牛对饲料养分的消化吸收作用受海拔因素影响较小,并且在高纤维饲料水平下, NCG对奶牛采食量无显著增加效果。Cieslar等^[22]研究发现,作为NCG代谢通路上的重要信号分子,NO可通过作用于环状鸟苷酸促进血管平滑肌松弛,增加奶牛乳腺血浆流量,促进乳腺血管增生从而增加产奶量,推测为本试验中NCG组奶牛4%FCM显著提升的原因之一,同时与下文NCG提升奶牛泌乳性能的试验结果一致。

3.2 NCG对奶牛泌乳性能的影响

高原环境中氧气浓度低,而乳腺分泌乳汁能量需求较大,由此乳腺主要功能方式转化为无氧呼吸,易诱导乳腺细胞癌变和分化^[23],泌乳性能随之受到影响。前人研究表明,荷斯坦奶牛在高原习服1年后,产奶量和乳蛋白率分别降低19.20%和4.22%,泌乳性能在低氧环境中受到抑制^[24]。而董旭晟等^[25]发现,在围产期奶牛饲料中添加NCG可分别提升4%FCM产量和乳蛋白率13.08%和6.46%以上,且围产后期添加NCG的作用效果优于围产前期。本试验中,补充NCG提高了奶牛产奶量和总固形物含量,有效降低乳尿素氮含量,奶牛的氮素利用率得到改善,这可能是Arg参与机体氮素运输、储存、排泄以及尿素循环

的结果。在精氨酸酶的作用下, Arg 转化为鸟氨酸进入线粒体促进尿素循环, 合成更多含氮化合物参与 MCP 以及乳蛋白合成^[8]。同时 NCG 可提高奶牛血液中性粒细胞关键功能基因的表达, 改善机体免疫系统的吞噬杀菌功能^[11], 因此, 本试验中 NCG 组牛乳中体细胞数量相较于 CON 组减少 9.10%。除此之外, NCG 可通过激活细胞线粒体内的 CPS- I 促进氨甲酰磷酸合成, 转移至细胞

质中进一步生成 Arg 及相关代谢产物, 提升牛奶中 Arg、脯氨酸和天冬氨酸含量^[9]。丁洛阳^[26]研究表明, NCG 可通过“Arg-鸟氨酸-腐胺”代谢途径调控乳腺上皮细胞合成酪蛋白。因此, 后续试验可进一步分析牛奶中各氨基酸以及蛋白质组分, 为提升高海拔地区奶牛的乳品质提供数据支撑。

表 7 NCG 对奶牛血清抗高原反应因子含量的影响

Table 7 Effects of NCG on serum altitude response factor contents of dairy cows

项目 Items	NCG 组 NCG group	对照组 CON group	SEM	P 值 P-value
促红细胞生成素 EPO/(pg/mL)	5 220.19	5 236.17	136.40	0.95
低氧诱导因子-1 HIF-1/(pg/mL)	114.33	109.86	3.84	0.57
血管内皮生长因子 VEGF/(pg/mL)	2 05.79 ^a	179.21 ^b	4.72	<0.01
血管紧张素转化酶 ACE/(U/μL)	84.63	81.22	4.67	0.72
内皮型一氧化氮合酶 eNOS/(U/mL)	34.32 ^a	26.22 ^b	0.98	<0.01
诱导型一氧化氮合酶 iNOS/(U/mL)	24.41 ^a	18.57 ^b	0.73	<0.01
内皮素-1 ET-1/(EU/mL)	11.09	9.88	0.45	0.18
C 型利钠肽 CNP/(ng/L)	6.11	5.74	0.16	0.23
一氧化氮 NO/(μg/mL)	0.025 ^a	0.021 ^b	0.000 8	<0.01

3.3 NCG 对奶牛瘤胃发酵参数的影响

研究表明, 高海拔低氧环境会影响奶牛瘤胃微生物区系, 降低瘤胃球菌属和短杆真菌属丰度, 导致机体能量供应不足以及抗炎症作用减弱, 加速奶牛高原病的产生^[1]。瘤胃液 pH 是体现瘤胃内发酵状况的重要指标, 本试验中, 2 组试验奶牛瘤胃液 pH 均处于正常范围 (6.0~7.0) 内^[27], 因此, 在饲料中添加 NCG 对奶牛瘤胃正常发酵无显著影响。瘤胃微生物利用内源和外源含氮物质代谢产生的 NH₃-N 是合成 MCP 的主要原料, 瘤胃内 NH₃-N 以及 MCP 含量可反映微生物合成蛋白质的效率^[28]。研究发现, 饲料中添加 NCG 可有效促进奶牛尿素循环, 显著提升微生物利用 NH₃-N 合成 MCP 的效率, 并且满足奶牛泌乳活动的能量需求^[29]。本试验结果表明, NCG 组奶牛瘤胃微生物对 NH₃-N 的利用程度显著高于 CON 组, 这可能是因为 NCG 促进瘤胃上皮细胞和十二指肠细胞吸收 NH₃-N, 为合成 MCP 提供充足氮源, 减少 NH₃-N 降解导致的氮源损失^[30]。

在瘤胃上皮组织中, VFA 通过被动扩散、VFA⁻以及 HCO₃⁻ 阴离子交换等途径进入机体血液

循环, 为反刍动物提供 70% 以上的代谢能, 并且刺激瘤胃上皮细胞和乳头形态学发育^[31]。本试验中, 2 组试验奶牛 TVFA 以及各主要 VFA 含量未出现显著差异, 但 NCG 组奶牛乙酸/丙酸具有显著升高的趋势。更多的乙酸与 β-羟丁酸反应合成脂肪酸进而促进乳脂合成^[32], 这也导致本研究中 NCG 组奶牛乳脂率相较于 CON 组增加 8.53%, 而补充 NCG 改变瘤胃液乙酸/丙酸的机理有待进一步探究。

3.4 NCG 对奶牛血清生化指标的影响

作为血清中的主要脂类物质, TG 和 CHOL 能够反映机体吸收和代谢脂肪的状况。血清 GLU 可促进奶牛乳腺上皮细胞增殖, 增加酪蛋白和哺乳动物雷帕霉素靶蛋白等基因表达量, 改善乳腺上皮细胞对 GLU 的摄取能力^[33], 健康动物体内 GLU 含量保持动态平衡。姚琨^[1]研究表明, 患有高原病的奶牛体内 *Lcat*、*Apoc4* 和 *Rbp4* 等脂类、淀粉以及 GLU 代谢相关基因表达下调, 导致机体糖酵解紊乱以及能量供应不足。本试验中, NCG 组奶牛的血清 CHOL 含量相较于 CON 组降低 25.77%, 同时 GLU 含量有所增加, 这说明补充

NCG可促进奶牛肝脏糖异生代谢过程,协助氨基酸代谢并且对预防代谢性酸中毒具有重要作用。

肝脏细胞内ALT和AST贮存量较高,当肝脏细胞受损时,细胞膜通透性增加导致ALT和AST释放进入血液,因此可作为肝脏功能的评价指标^[34]。本试验结果表明,NCG组奶牛血清ALT显著低于CON组,表明肝脏的生理功能得到改善,因此NCG对于高海拔低氧环境中奶牛的肝脏细胞具有良好的修复效果。白蛋白可稳定体内血浆渗透压、协助运输代谢物质,转化为组织蛋白后可参与组织生长以及受损组织修复。本试验中,2组试验奶牛血清ALB含量无显著差异,结合DMI以及CP表观消化率数据,说明NCG对奶牛消化吸收饲料蛋白质无负面影响。

3.5 NCG对奶牛血清抗氧化指标的影响

Pena等^[35]研究发现,低氧低压可诱发机体氧化应激,增加体内ROS和MDA含量,并通过相关炎症途径诱发高原肺水肿和脑水肿等高原病,揭示了氧化应激与高原病的相关性。

本试验结果表明,饲料中添加NCG可显著提升血清GSH-Px和SOD活性以及T-AOC,血清中MDA和ROS含量分别降低31.63%和12.99%,奶牛抗氧化能力得到增强,机体氧化代谢维持动态平衡状态。NCG进入体内后,可通过提升抗氧化基因表达以及核因子红系2-相关因子2、Kelch样环氧氯丙烷相关蛋白-1和哺乳动物雷帕霉素靶蛋白等信号分子的含量,有效缓解脾脏氧化应激以及炎症反应^[36]。赵相洋等^[37]研究表明,NCG可通过转化成Arg抑制体内脂质氧化过程来降低MDA含量,同时下游产物NO也可中和血液中ROS,且饲料中添加20 g/(头·d)NCG对机体抗氧化能力的提升效果最为明显。NCG组奶牛抗氧化性能得到提升,同时发生炎症反应以及高原病的概率降低,因此奶牛的泌乳性能和免疫性能得到保障,这与前人研究结果^[10,29]一致。

3.6 NCG对奶牛血清抗高原反应因子含量的影响

研究发现,高原病奶牛血液中铁离子以及血细胞数含量显著降低,机体氧气输送能力大幅减弱,并且血管内膜结构受损进一步导致肺动脉高压和心脏衰竭等病变,难以适应高海拔低氧环境^[1-2]。NOS包含iNOS、eNOS和神经型一氧化氮合成酶(nNOS)3种不同亚型,在NOS和四氢生

物嘌呤的作用下,Arg代谢生成NO和瓜氨酸,NO可通过舒张血管平滑肌降低肺动脉血管阻力^[38]。Wang等^[12]研究发现,患有肺动脉高压的奶牛eNOS活性降低进而恶化病情,补充NCG可通过促进eNOS和内源性NO合成,降低奶牛平均肺动脉压力和外周收缩压力,对预防低氧环境下奶牛的心血管损伤发挥重要作用。本试验结果表明,NCG组奶牛血清eNOS、iNOS活性以及NO含量分别增加30.89%、31.45%和19.05%,说明试验奶牛摄取和转运NCG的能力未受到抑制,且NCG促进eNOS和iNOS表达的同时增加血清中NO含量,有利于维护奶牛心血管完整性,缓解高原适应症,改善奶牛体况以及生产性能。

作为一种高效的血管内皮细胞有丝分裂原和通透性因子,VEGF具有增强血管通透性、维持和重塑现有血管以及促进血管内皮细胞增殖等作用^[39]。本试验结果表明,补充NCG可增加血清VEGF含量,促进低氧环境下奶牛体内新生毛细血管的形成,增强奶牛血液运输氧气的的能力。ET-1是动物体内具有收缩血管功能的生物活性多肽,主要在肺部发挥收缩血管、促进腺体分泌和释放炎性介质等作用。本试验中,NCG组奶牛血清ET-1含量相比CON组增加12.25%,这可能是机体NO等舒张血管因子大量增加的原因导致ET-1含量代偿性增加,有利于血管压力保持动态平衡状态。

4 结论

高海拔低氧环境中,NCG可提升瘤胃微生物对NH₃-N的利用效率,有效减少奶牛体内氮源损失。同时,NCG可以维持机体GLU和脂质代谢平衡,改善奶牛肝脏代谢以及氮素循环,提高机体抗氧化以及免疫性能,降低炎症反应和高原病的发生概率。在奶牛体内,NCG可促进eNOS、iNOS、NO和VEGF等抗高原反应因子合成,不仅可通过促进乳腺血管增生来增加奶牛产奶量,而且可以维持心血管通道完整性,对缓解奶牛高原适应症具有重要意义。

参考文献:

- [1] 姚琨.多组学技术解析荷斯坦奶牛高原病的发生机制[D].博士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2021.

- YAO K. Analyses of mechanism of brisket disease in Holstein heifers based on multi-omics technology[D]. Ph.D. Thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021. (in Chinese)
- [2] 王书祥. 饲喂 N-羧基谷氨酸对高原奶牛肺动脉高压的影响研究[D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2019: 22-27.
- WANG S X. Effects of supplementation with N-carbamylglutamate on pulmonary hypertension in Holstein heifers in Tibet[D]. Ph.D. Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2019: 22-27. (in Chinese)
- [3] MORRIS S M J. Recent advances in arginine metabolism: roles and regulation of the arginases[J]. British Journal of Pharmacology, 2009, 157(6): 922-930.
- [4] JOBGEN W S, FRIED S K, FU W J, et al. Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2006, 17(9): 571-588.
- [5] 张益凡, 徐颖, 胡良宇, 等. 动物机体精氨酸和赖氨酸功能互作效应与机制的研究进展[J/OL]. 中国畜牧杂志; 1-12. [2022-03-16]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=ZGXM20211110008&dbName=CAPJ2021>. DOI: 10.19556/j.0258-7033.20210517-05.
- ZHANG Y F, XU Y, HU L Y, et al. Research progress on the interaction effect and mechanism of arginine and lysine in animal body[J/OL]. Chinese Journal of Animal Science; 1-12. [2022-03-16]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=ZGXM20211110008&dbName=CAPJ2021>. DOI: 10.19556/j.0258-7033.20210517-05. (in Chinese)
- [6] WU G Y, KNABE D A, KIM S W. Arginine nutrition in neonatal pigs[J]. Journal of Nutrition, 2004, 134(Suppl.10): 2783S-2790S.
- [7] CHACHER B, WANG D M, LIU H Y, et al. Degradation of L-arginine and N-carbamoyl glutamate and their effect on rumen fermentation *in vitro*[J]. Italian Journal of Animal Science, 2012, 11(4): e68.
- [8] CHACHER B, ZHU W, YE J A, et al. Effect of dietary N-carbamoylglutamate on milk production and nitrogen utilization in high-yielding dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2014, 97(4): 2338-2345.
- [9] GU F F, MIAO C, JIANG L Y, et al. Dietary supplementation with N-carbamoylglutamate initiated from the prepartum stage improves lactation performance of postpartum dairy cows[J]. Animal Nutrition, 2021, 7(1): 232-238.
- [10] GU F F, LIANG S L, WEI Z H, et al. Short communication: effects of dietary addition of N-carbamoylglutamate on milk composition in mid-lactating dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(12): 10985-10990.
- [11] 顾凤飞. N-羧基谷氨酸对奶牛泌乳性能、健康和繁殖性能的影响及其机制[D]. 博士学位论文杭州: 浙江大学, 2020: 76-78.
- GU F F. Lactation performance, health and reproduction of dairy cows influenced by supplementation of N-carbamoylglutamate and mechanism involved[D]. Ph. D. Thesis. Hangzhou: Zhejiang University, 2020: 76-78. (in Chinese)
- [12] OMURA A, ROY R, JENNINGS T. Inhaled nitric oxide improves survival in the rat model of high-altitude pulmonary edema[J]. Wilderness & Environmental Medicine, 2000, 11(4): 251-256.
- [13] WANG S X, AZARFAR A, WANG Y J, et al. N-carbamylglutamate restores nitric oxide synthesis and attenuates high altitude-induced pulmonary hypertension in Holstein heifers ascended to high altitude[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2018, 9: 63.
- [14] VAN KEULEN J, YOUNG B A. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies[J]. Journal of Animal Science, 1977, 44(2): 282-287.
- [15] 咎林森. 牛生产学[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2007: 101.
- ZAN L S. Cattle production science[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2007: 101. (in Chinese)
- [16] WANG M, WANG R, YANG S, et al. Effects of three methane mitigation agents on parameters of kinetics of total and hydrogen gas production, ruminal fermentation and hydrogen balance using *in vitro* technique[J]. Animal Science Journal, 2016, 87(2): 224-232.
- [17] WEATHERBURN M W. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia[J]. Analytical Chemistry, 1967, 39(8): 971-974.
- [18] ZINN R A, OWENS F N. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis[J]. Canadian Journal of Animal Science, 1986, 66(1): 157-166.
- [19] QIAO G H, SHAO T, YU C Q, et al. A comparative study at two different altitudes with two dietary nutrition levels on rumen fermentation and energy metabolism in Chinese Holstein cows[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2013, 97(5): 933-941.

- [20] 任利圆.日粮中添加N-氨甲酰谷氨酸对泌乳牛生产性能、瘤胃发酵及血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2019:11-12.
REN L Y. Effects of dietary NCG supplementation of on production performance, rumen fermentation and blood biochemical parameters of lactating cows [D]. Master's Thesis. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2019: 11-12. (in Chinese)
- [21] 董利锋,杨修竹,高彦华,等.日粮不同NDF/NFC水平对周岁后荷斯坦奶牛生产性能、营养物质消化率、瘤胃发酵特征和甲烷排放的影响[J].草业学报,2021,30(2):156-165.
DONG L F, YANG X Z, GAO Y H, et al. Effects of dietary NDF/NFC ratio on growth performance, nutritive digestibility, ruminal fermentation characteristics and methane emissions of Holstein heifers [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2021, 30(2): 156-165. (in Chinese)
- [22] CIESLAR S R L, MADSEN T G, PURDIE N G, et al. Mammary blood flow and metabolic activity are linked by a feedback mechanism involving nitric oxide synthesis [J]. Journal of Dairy Science, 2014, 97(4): 2090-2100.
- [23] RAUSCH L K, NETZER N C, HOEGEL J, et al. The linkage between breast cancer, hypoxia, and adipose tissue [J]. Frontiers in Oncology, 2017, 7: 211.
- [24] 索朗曲吉,巴桑珠扎,赵丽,等.西藏引进良种奶牛高原适应性观察与研究[J].中国饲料,2019(2):11-15.
SUO L Q J, BA S Z Z, ZHAO L, et al. Observation and research on plateau adaptability of introduced breeding cows in Tibet [J]. China Feed, 2019(2): 11-15. (in Chinese)
- [25] 董旭晟,李远杰,法文静,等.围产期饲喂N-氨基甲酰谷氨酸对奶牛泌乳性能、血清生化及免疫指标的影响[J].动物营养学报,2021,33(12):7140-7147.
DONG X S, LI Y J, FA W J, et al. Effects of N-carbamylglutamate supplementation on milking performance, serum biochemical and immunity parameters in transition cows [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(12): 7140-7147. (in Chinese)
- [26] 丁洛阳.精氨酸酶调控奶牛乳腺中酪蛋白合成的分子机制[D].硕士学位论文.扬州:扬州大学,2016:55-57.
DING L Y. Regulatory mechanism of arginase on casein synthesis in bovine mammary gland [D]. Master's Thesis. Yangzhou: Yangzhou University, 2016: 55-57. (in Chinese)
- [27] 王之盛,李胜利.反刍动物营养学[M].北京:中国农业出版社,2004:10-11.
WANG Z S, LI S L. Ruminant nutrition [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 10-11. (in Chinese)
- [28] MCALLAN A B. The fate of nucleic acids in ruminants [J]. The Proceedings of the Nutrition Society, 1982, 41(3): 309-317.
- [29] 吴晓峰.N-氨甲酰谷氨酸对奶牛生产性能、乳品质、瘤胃发酵参数及抗氧化功能的影响[J].中国畜牧杂志,2021,57(8):197-201.
WU X F. Effects of N-carbamylglutamate on production performance, milk quality, rumen fermentation parameters and antioxidant function of dairy cows [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2021, 57(8): 197-201. (in Chinese)
- [30] OBA M, BALDWIN R L 6, OWENS S L, et al. Metabolic fates of ammonia-N in ruminal epithelial and duodenal mucosal cells isolated from growing sheep [J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(11): 3963-3970.
- [31] 李晓彤,杨凯,张瑞阳,等.反刍动物瘤胃发育规律及其调控机制研究进展[J].中国畜牧兽医,2020,47(7):2055-2062.
LI X T, YANG K, ZHANG R Y, et al. Research progress of rumen development and its regulation mechanism of ruminants [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2020, 47(7): 2055-2062. (in Chinese)
- [32] 陈美庆,张养东,郑楠,等.短链脂肪酸调控奶牛乳腺乳脂合成作用机制的研究进展[J].动物营养学报,2022,34(3):1426-1433.
CHEN M Q, ZHANG Y D, ZHENG N, et al. Advances in mechanism of short-chain fatty acids regulating milk fat synthesis in bovine mammary gland [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(3): 1426-1433. (in Chinese)
- [33] 李子南,李大彪,邢媛媛,等.葡萄糖对奶牛乳腺上皮细胞增殖、葡萄糖摄取和酪蛋白合成相关基因表达的影响[J].动物营养学报,2020,32(6):2896-2903.
LI Z N, LI D B, XING Y Y, et al. Effects of glucose on cell proliferation, glucose uptake and expression of casein synthesis-related genes in mammary epithelial cells of dairy cows [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(6): 2896-2903. (in Chinese)
- [34] PERRONE R D, MADIAS N E, LEVEY A S. Serum creatinine as an index of renal function: new insights

- into old concepts [J]. *Clinical Chemistry*, 1992, 38 (10): 1933-1953.
- [35] PENA E, EL ALAM S, SIQUES P, et al. Oxidative stress and diseases associated with high-altitude exposure [J]. *Antioxidants*, 2022, 11 (2): 267.
- [36] MO W W, WU X A, JIA G, et al. Roles of dietary supplementation with arginine or N-carbamylglutamate in modulating the inflammation, antioxidant property, and mRNA expression of antioxidant-related signaling molecules in the spleen of rats under oxidative stress [J]. *Animal Nutrition*, 2018, 4 (3): 322-328.
- [37] 赵相洋, 钟友刚. N-羧基谷氨酸对奶牛抗氧化性能及激素的影响 [J]. *中国兽医杂志*, 2020, 56 (10): 16-19.
- ZHAO X Y, ZHONG Y G. Effects of N-carbamylglutamate on antioxidant properties and lactating-related hormones in dairy cows [J]. *Chinese Journal of Veterinary Medicine*, 2020, 56 (10): 16-19. (in Chinese)
- [38] TONELLI A R, HASERODT S, AYTEKIN M, et al. Nitric oxide deficiency in pulmonary hypertension: pathobiology and implications for therapy [J]. *Pulmonary Circulation*, 2013, 3 (1): 20-30.
- [39] 李娜, 朱雄, 何庆. 血管内皮生长因子与高原肺水肿 [J]. *心血管病学进展*, 2019, 40 (2): 188-191.
- LI N, ZHU X, HE Q. Vascular endothelial growth factor and high altitude pulmonary edema [J]. *Advances in Cardiovascular Diseases*, 2019, 40 (2): 188-191. (in Chinese)

Effects of N-Carbamylglutamate on Lactation Performance and Plateau Adaptability of Holstein×Tibet Hybrid Cows

JIANG Aoyu^{1,2} BASANG Zhuzha³ LI Bin³ WU Yicheng^{1,2} PENG Jinfen^{1,2} LYU Xiaokang^{1,2}
LIU Zixin^{1,2} HUANG Ximei⁴ ZHOU Chuanshe^{1,2*} CHEN Liang^{5*} TAN Zhiliang^{1,2}

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Animal Nutrition Physiology and Metabolic Process, National Engineering Laboratory for Pollution Control and Waste Utilization in Livestock and Poultry Production, CAS Key Laboratory for Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Animal Science, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, China; 4. Zhongshan Nenghe Biotechnology Co., Ltd., Zhongshan 528415, China; 5. Rural Revitalization Strategy Research Institute, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of N-carbamyl glutamate (NCG) fed at high altitude and low oxygen environment on nutrient apparent digestibility, lactation performance, rumen fermentation parameters, serum biochemistry indexes, antioxidant indexes and anti-altitude response indexes of dairy cows. Twenty hybrid cows of Holstein dairy cow × Tibetan cattle cross third generation dairy cows in pre-lactation with similar parity, body weight, milk yield and physical condition scores were randomly divided into two groups of 10 cows each. The control group was fed a basic diet (CON group), and the NCG group was added 20 g/(head · d) NCG to the basic diet. The experiment lasted for 45 d, including 15 d for pre-test and 30 d for formal test. The results showed as follows: 1) the 4% fat corrected milk and feed conversion rate in NCG group were 39.35% and 54.16% higher than those in CON group, respectively ($P < 0.05$). 2) Compared with CON group, the milk yield and milk total solid content of NCG group were significantly increased ($P < 0.05$), milk urea nitrogen content was decreased by 19.61% ($P = 0.13$), and milk fat percentage was increased by 8.53% ($P = 0.13$). 3) Compared with CON group, ammoniacal nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) content in rumen fluid of NCG group was decreased by 38.11% ($P < 0.05$), and microbial protein content was increased by 12.43% ($P < 0.05$), and there was an increasing trend in acetic/propionic ($P = 0.07$). 4) The total cholesterol content and glutamic-pyruvic transaminase activity of NCG group were significantly lower than those in CON group ($P < 0.05$), and the content of triglyceride was significantly increased compared with CON group ($P < 0.05$). 5) Compared with CON group, the glutathione peroxidase, superoxide dismutase activity and total antioxidant capacity of NCG group were significantly increased ($P < 0.05$), and the contents of malondialdehyde and reactive oxygen species ($P < 0.05$) were significantly decreased. 6) Dietary NCG supplementation could significantly increase the contents of vascular endothelial growth factor and nitric oxide ($P < 0.05$), as well as activity of endothelial nitric oxide synthase and inducible nitric oxide synthase in serum ($P < 0.05$). It is concluded that dietary NCG supplementation can enhance lactation performance, antioxidant and anti-altitude response capacity, and improve liver metabolism and nitrogen cycling of dairy cows in high altitude and low oxygen environment. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(9):5879-5890]

Key words: N-carbamyl glutamate; Holstein×Tibet hybrid cows; milk performance; oxidation resistance; anti-altitude response

* Corresponding authors: ZHOU Chuanshe, professor, E-mail: zcs@isa.ac.cn; CHEN Liang, lecturer, E-mail: cl2021@syau.edu.cn

(责任编辑 陈鑫)