

钟明彬, 经宏鑫, 袁景成, 等. 补喂赖氨酸和苏氨酸对放牧条件下泌乳母马血液生化指标的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2024, 56 (1): 20-25.
ZHONG M B, JING H X, YUAN J C, et al. Effects of supplementing lysine and threonine on blood biochemical indices of lactating mares under grazing conditions [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2024, 56 (1): 20-25.

补喂赖氨酸和苏氨酸对放牧条件下泌乳母马血液生化指标的影响

钟明彬^{1#}, 经宏鑫^{1,2#}, 袁景成¹, 梁润飞¹, 高博坤¹, 张城铭¹,
马壮¹, 阿布都沙拉木·艾合麦提¹, 夏津巴特¹, 李晓斌^{1,2*}

(1. 新疆农业大学动物科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;
2. 新疆肉用草食动物营养实验室, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 通过给放牧条件下泌乳母马补饲赖氨酸和苏氨酸, 探究其对泌乳母马血液生化指标的影响, 为氨基酸调控泌乳期母马的健康提供参考依据。选择产驹日期相近 (5 月份), 年龄 7~9 岁, 胎次 4~5 胎, 平均体重 (428.00±33.42) kg, 泌乳 30 d 的伊犁母马 24 匹, 随机分为 4 个组, 每组 6 匹, 分别为对照组、试验 I 组、试验 II 组和试验 III 组。在相同的放牧条件下 (放牧时间、饮水时间、挤奶时间和放牧草场完全相同), 对照组不进行任何氨基酸补喂, 试验 I 组每匹马补饲赖氨酸 40 g/d+苏氨酸 20 g/d, 试验 II 组每匹马补饲赖氨酸 60 g/d+苏氨酸 40 g/d, 试验 III 组每匹马补饲赖氨酸 80 g/d+苏氨酸 60 g/d。整个补饲期为 120 d, 定期采集母马血液, 测定相关生化指标。结果: 在蛋白质代谢方面, 试验 I~III 组母马血液中总蛋白和白蛋白含量均显著低于对照组 ($P<0.05$), 尿酸含量分别比对照组提高 16.33%、37.20% 和 17.58%; 在糖脂代谢方面, 试验 I~III 组的总胆红素均极显著高于对照组 ($P<0.01$), 葡萄糖和甘油三酯含量均低于对照组; 在酶活力方面, 试验 I~III 组的谷丙转氨酶和谷草转氨酶活力均极显著低于对照组 ($P<0.01$), 碱性磷酸酶和肌酸激酶的活力随着赖氨酸和苏氨酸剂量的增加而呈上升趋势; 在矿物质方面, Ca^{2+} 、无机磷和 Mg^{2+} 的含量各组之间均无显著差异 ($P>0.05$), 但试验 II 组 Fe^{2+} 含量最高, 与其他 3 组有显著或极显著差异。综上, 在放牧条件下给泌乳母马补饲赖氨酸和苏氨酸可降低其血液中葡萄糖、甘油三酯含量以及谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活力, 提高总胆红素、无机磷、 Mg^{2+} 和 Fe^{2+} 的含量, 促进泌乳母马的健康, 以每匹泌乳母马摄入 60 g/d 的赖氨酸和 40 g/d 的苏氨酸效果最佳。

关键词: 泌乳母马; 赖氨酸; 苏氨酸; 血液生化指标

中图分类号: S821.5 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2024)01-0020-06

Effects of supplementing lysine and threonine on blood biochemical indices of lactating mares under grazing conditions

ZHONG Mingbin^{1#}, JING Hongxin^{1,2#}, YUAN Jingcheng¹, LIANG Runfei¹, GAO Bokun¹,
ZHANG Chengming¹, MA Zhuang¹, AUBDUSHALAMU Aihemaiti¹, XIA Jinbate¹, LI Xiaobin^{1,2*}
(1. College of Animal Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;
2. Xinjiang Herbivore Nutrition Laboratory for Meat and Milk, Urumqi 830052, China)

Abstract: This experiment was to study the effects of supplementing lysine and threonine on blood biochemical indexes of lactating mares under grazing conditions so as to provide reference for amino acid regulation for the health of lactating mares. In this study, 24 Yili mares with similar foaling date (May), 8-10 years of age, parities of 3-4 parities, average weight of (428.00±33.42) kg and lactation for 30 days were selected. The mares were randomly divided into 4 groups with 6 mares in each group, which were the control group, trial group I, trial group II and trial group III, respectively. Under the same grazing conditions (the same grazing time, drinking time, milking time and grazing pasture). The control group was not fed with any amino acid supplement. Each horse in trial group I was fed with a diet supplemented with lysine 40 g/d+ threonine 20 g/d, the diet for each horse in trial group II was supplemented with lysine 60 g/d+ threonine 40 g/d, and that of each horse in trial group III was supplemented with lysine 80 g/d+ threonine 60 g/d. The supplementary feeding experiment lasted for 120 days, and then the cervical vein blood samples of the mares were collected regularly to determine the relevant biochemical indexes. The

收稿日期: 2023-05-31; 修回日期: 2023-11-01

基金项目: 新疆农业大学博士后流动站资助项目 (2020); 国家级大学生创新项目 (2023 年)

第一作者: 钟明彬, 男, 本科生; 经宏鑫, 男, 硕士研究生。# 为共同第一作者

* 通信作者: 李晓斌, 副教授, 研究方向为草食动物营养代谢, E-mail: lxb262616@163.com。

results were as follows: In terms of protein metabolism, the contents of total protein and albumin in the blood of the mares in trial groups I, II and III were significantly lower than those in the control group ($P < 0.05$), and the uric acid content was increased by 16.33%, 37.20% and 17.58%, respectively. In terms of glucose and lipid metabolism, the total bilirubin of trial groups I, II and III was significantly higher than that of the control group ($P < 0.01$), their glucose and triglyceride contents were lower than those of the control group. In terms of enzyme activity, the activities of alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase in trial groups I, II and III were significantly lower than those in the control group ($P < 0.01$). The activity of alkaline phosphatase and creatine kinase increased with higher doses of lysine and threonine. In terms of mineral ions, there were no significant differences in the contents of Ca^{2+} , inorganic phosphorus and Mg^{2+} among all the groups ($P > 0.05$), but the contents of Fe^{2+} in trial group II were the highest, and there were significant or extremely significant differences when compared with the other three groups. In conclusion, supplementation of lysine and threonine to the diet for lactating mares under the same grazing conditions reduced the activities of glucose, triglyceride, glutamic oxalacetic transaminase and glutamyl transaminase in their blood, increased the contents of total bilirubin, inorganic phosphorus, Mg^{2+} and Fe^{2+} , and promoted the health of the mares. The intake of 60 g/d of lysine and 40 g/d of threonine for individual lactating mare was the most effective.

Keywords: lactating mares; lysine, threonine, blood biochemical indicators

泌乳期母马因生理、健康、饲养管理和养分摄入量等影响, 机体代谢极易出现紊乱, 影响母马泌乳性能^[1]。放牧条件下的母马, 可以通过牧草获得机体所需的养分, 但限制性氨基酸的不足已经成为影响母马健康和生产性能的关键因素^[2]。赖氨酸和苏氨酸是马的限制性氨基酸, 对马的生长发育、营养成分的消化吸收、生产性能和繁殖性能等都有重要的促进作用^[2-3]。因此, 监测和评价泌乳期母马的健康, 通过给泌乳母马补喂不同剂量的赖氨酸和苏氨酸, 对泌乳母马健康养殖具有重要的意义。研究证明, 赖氨酸通过转化为肉碱参与动物机体蛋白质的代谢, 同时可以调控机体内各种激素的分泌参与机体的代谢^[4]。苏氨酸可以转化为丝氨酸、甘氨酸等来调节机体氨基酸的平衡, 同时作为机体免疫系统重要的构成部分参与机体的免疫应答^[5]。姜富贵等^[6]研究表明, 在泌乳早期奶牛日粮中添加 18 g/头和 35 g/头的过瘤胃赖氨酸和过瘤胃蛋氨酸可显著提高奶牛血清中总蛋白、白蛋白和葡萄糖的含量, 且显著降低尿素氮含量, 改善机体蛋白质的代谢。崔斌^[7]研究表明, 在妊娠母兔日粮中添加不同剂量的苏氨酸, 对妊娠母兔血清谷草转氨酶、尿素氮、甘油三酯和免疫球蛋白 G 均有显著影响。因此, 本研究以泌乳母马为研究对象, 在放牧条件下, 给泌乳母马饲喂不同剂量的赖氨酸和苏氨酸的组合, 通过测定不同阶段血液生化指标, 综合分析和评价补喂赖氨酸和苏氨酸对放牧泌乳母马健康的影响, 为氨基酸调控泌乳期母马的健康提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

L-赖氨酸含量(以干物质为基础) $\geq 98.5\%$ 。L-苏氨酸含量(以干物质为基础) $\geq 98.5\%$, 均购自新疆芝麻贸易有限公司。

1.2 试验动物

选择伊犁母马共 24 匹, 产驹日期相近(5 月份), 年龄 7~9 岁, 胎次 4~5 胎, 平均体重 (428.00 ± 33.42) kg, 泌乳 30 d, 产奶量相近, 泌乳前 30 d 日均 8 h 挤奶量为 (2.79 ± 0.02) kg。

1.3 试验设计

试验在新疆伊犁哈萨克自治州昭苏县库德草场进行。将 24 匹母马随机分为 4 个组, 每组 6 匹, 分别为对照组、试验 I 组、试验 II 组和试验 III 组。在相同的放牧条件下(放牧时间、饮水时间、挤奶时间和放牧草场完全相同), 对照组不进行任何氨基酸补喂, 试验 I 组每匹马补喂赖氨酸 40 g/d + 苏氨酸 20 g/d, 试验 II 组每匹马补喂赖氨酸 60 g/d + 苏氨酸 40 g/d, 试验 III 组每匹马补喂赖氨酸 80 g/d + 苏氨酸 60 g/d。补喂剂量参考 NRC(2007) 400 kg 成熟体重泌乳母马氨基酸的需要量范围^[8]以及马的氨基酸需求^[9]设计补喂梯度。试验时间为 2022 年 6—9 月, 试验期为 120 d。

1.4 饲养管理

结合当地牧民传统放牧及挤奶方法开展本研究相关试验。所有母马白天有 8 h 栓系挤奶时间, 此期间马驹与母马分开, 马驹不采食母乳, 其余 16 h 马驹与母马共同放牧饲养。每天 8:30 将母马与马驹由放牧草场赶至挤奶草场; 9:00 试验组母马结合分组使用料兜补喂相应赖氨酸和苏氨酸, 同时将母马与马驹分开, 期间为挤奶时间。17:00 最后一次挤奶结束, 母马和马驹合群, 一起赶回放牧草场。母马挤奶期间可自由采食牧草, 自由饮水。

1.5 样品的采集处理

1.5.1 血液样品采集及处理

分别在试验第 0、30、60、90 和 120 天晨饲前空腹, 使用肝素钠采血管颈静脉采集血样 2 管各 5 mL, 3 500 r/min 离心 15 min 后制取血浆, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷冻保

存待用。

1.5.2 指标测定

所有指标检测均使用全自动生化分析仪（深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司，型号：BS-240VET）进行检测，试剂盒均购自深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司，检测方法参考试剂盒说明书。

血液蛋白质代谢相关指标：总蛋白、白蛋白、球蛋白、尿酸。

血液糖脂代谢相关指标：葡萄糖、甘油三酯、总胆红素。

血液酶活力相关指标：谷丙转氨酶、谷草转氨酶、碱性磷酸酶、 γ -谷氨酰转移酶、乳酸脱氢酶、肌酸激酶。

血液矿物质相关指标： Ca^{2+} 、无机磷、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 。

1.6 数据统计与分析

在 Excel 中先将数据进行预处理，再使用 SPSS 18.0 软件进行双因素分析，考虑不同的赖氨酸和苏

氨酸组合含量与采样时间的影响。采用混合线性模型分析组间血液生化指标的差异，试验结果均以“平均值 \pm 标准差”表示。 $P < 0.05$ 为差异显著， $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 补喂赖氨酸与苏氨酸后泌乳母马血液蛋白质代谢相关指标的测定

由表 1 可知，给放牧条件下泌乳母马补喂赖氨酸和苏氨酸后，各试验组的总蛋白均极显著低于对照组 ($P < 0.01$)，分别降低了 9.06%、6.35% 和 5.92%；白蛋白均极显著低于对照组 ($P < 0.01$)，分别降低 13.86%、9.50% 和 12.10%，且时间、分组均有极显著影响 ($P < 0.01$)。同时，各组的球蛋白含量均无显著差异 ($P > 0.05$)。此外，试验 II 组的尿酸与对照组相比极显著提高了 37.20%，试验 I 组和试验 III 组与对照组相比尿酸分别提升了 16.33% 和 17.58%，且分组对泌乳母马血液尿酸含量影响显著 ($P < 0.05$)。

表 1 补喂赖氨酸与苏氨酸对泌乳母马血液蛋白质代谢相关指标的影响

项目	对照组	试验 I 组	试验 II 组	试验 III 组	P 值		
					分组	时间	分组 \times 时间
总蛋白/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	72.48 \pm 4.52 ^{aa}	65.91 \pm 9.23 ^{bb}	67.88 \pm 5.35 ^{bb}	68.19 \pm 5.72 ^{bb}	0.000	0.000	0.002
白蛋白/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	29.59 \pm 2.80 ^{aa}	25.49 \pm 3.87 ^{bb}	26.78 \pm 3.10 ^{bb}	26.01 \pm 4.00 ^{bb}	0.000	0.000	0.011
球蛋白/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	42.89 \pm 3.28	40.43 \pm 8.55	41.09 \pm 5.20	42.18 \pm 5.40	0.368	0.316	0.306
尿酸/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	6.37 \pm 4.61 ^{bb}	7.41 \pm 1.81 ^{ABab}	8.74 \pm 1.69 ^{Aa}	7.49 \pm 1.79 ^{ABab}	0.012	0.516	0.150

注：同行数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)，不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。下同。

2.2 补喂赖氨酸与苏氨酸后泌乳母马血液糖脂代谢相关指标的测定

由表 2 可知，给放牧条件下泌乳母马补喂赖氨酸与苏氨酸后，各组之间的葡萄糖水平并无显著差异 ($P > 0.05$)。各试验组甘油三酯含量与对照组相比，分别降低 29.41% ($P < 0.01$)、17.65% ($P > 0.05$)

和 23.53% ($P < 0.01$)。同时，各试验组的总胆红素均极显著高于对照组 ($P < 0.01$)，分别提高 23.97%、19.63% 和 18.80%，且试验组之间均无显著差异 ($P > 0.05$)。此外，分组 \times 时间对葡萄糖、甘油三酯和总胆红素有显著的交互作用 ($P < 0.05$)。

表 2 补喂赖氨酸与苏氨酸对泌乳母马血液糖脂代谢相关指标的影响

项目	对照组	试验 I 组	试验 II 组	试验 III 组	P 值		
					分组	时间	分组 \times 时间
葡萄糖	4.30 \pm 0.51	4.12 \pm 0.89	4.02 \pm 0.70	4.29 \pm 0.78	0.230	0.000	0.043
甘油三酯	0.17 \pm 0.07 ^{Aa}	0.12 \pm 0.06 ^{Bb}	0.14 \pm 0.06 ^{ABab}	0.13 \pm 0.06 ^{Bb}	0.004	0.000	0.009
总胆红素	4.84 \pm 0.76 ^{Bb}	6.00 \pm 1.29 ^{Aa}	5.79 \pm 1.88 ^{Aa}	5.75 \pm 2.04 ^{Aa}	0.005	0.000	0.014

mmol/L

2.3 补喂赖氨酸与苏氨酸后泌乳母马血液酶活力相关指标的测定

由表3可知,给放牧条件下泌乳母马补喂赖氨酸与苏氨酸后,各试验组的谷丙转氨酶活力均极显著低于对照组 ($P < 0.01$),分别降低了32.66%、23.99%和26.88%;谷草转氨酶活力均极显著低于对照组 ($P < 0.01$),分别降低了15.17%、12.33%和12.31%,试验组之间均无显著差异 ($P > 0.05$);试验I组的碱性磷酸酶活力与对照组、试验II组和试验III组相比显著降低了21.43% ($P < 0.05$)、21.18% ($P < 0.05$)和27.37% ($P < 0.01$);试验I组的乳酸脱氢酶活力与对照组、试验II组和试验III组相比差异

均极显著 ($P < 0.01$),分别降低了10.45%、12.85%和11.90% ($P < 0.01$);试验I组的肌酸激酶含量显著低于试验II组与试验III组,分别降低15.49% ($P < 0.05$)和21.05% ($P < 0.01$);试验II组 γ -谷氨酰转移酶活力极显著高于其他组 ($P < 0.01$),分别提高了26.53%、26.23%和13.40%。从分组和时间的主效应来看,分组和时间对谷丙转氨酶、谷草转氨酶、碱性磷酸酶、 γ -谷氨酰转移酶、肌酸激酶和乳酸脱氢酶均有显著影响 ($P < 0.05$),且分组 \times 时间对谷丙转氨酶、谷草转氨酶和肌酸激酶有显著的交互作用 ($P < 0.05$)。

表3 补喂赖氨酸与苏氨酸对泌乳母马血液酶活力指标的影响

U/L

项目	对照组	试验I组	试验II组	试验III组	P值		
					分组	时间	分组 \times 时间
谷丙转氨酶	10.38 \pm 3.11 ^{Aa}	6.99 \pm 2.56 ^{Bb}	7.89 \pm 2.93 ^{Bb}	7.59 \pm 2.23 ^{Bb}	0.000	0.000	0.032
谷草转氨酶	333.78 \pm 50.81 ^{Aa}	283.14 \pm 75.63 ^{Bb}	292.61 \pm 52.44 ^{Bb}	292.69 \pm 52.25 ^{Bb}	0.000	0.000	0.041
碱性磷酸酶	343.69 \pm 63.57 ^{Aa}	270.05 \pm 94.03 ^{Bb}	342.60 \pm 100.19 ^{Aa}	371.83 \pm 144.80 ^{Aa}	0.001	0.013	0.116
γ -谷氨酰转移酶	16.85 \pm 2.69 ^{Bc}	16.89 \pm 3.46 ^{Bc}	21.32 \pm 4.23 ^{Aa}	18.80 \pm 4.37 ^{Bb}	0.000	0.000	0.393
肌酸激酶	142.08 \pm 49.69 ^{ABbc}	135.16 \pm 38.98 ^{Bc}	159.94 \pm 51.33 ^{ABab}	171.20 \pm 65.39 ^{Aa}	0.010	0.000	0.003
乳酸脱氢酶	401.18 \pm 40.34 ^{Aa}	359.24 \pm 73.33 ^{Bb}	412.23 \pm 56.62 ^{Aa}	407.78 \pm 63.24 ^{Aa}	0.001	0.000	0.695

2.4 补喂赖氨酸与苏氨酸后泌乳母马血液矿物质含量的测定

由表4可知,给放牧条件下泌乳母马补喂赖氨酸与苏氨酸后,各组之间的Ca²⁺、无机磷和Mg²⁺含量

均无显著差异 ($P > 0.05$)。试验II组Fe²⁺含量显著高于其他组 ($P < 0.05$),分别提高了10.66%、24.49%和25.32%。此外,分组 \times 时间对Ca²⁺和Fe²⁺有显著的交互作用 ($P < 0.05$)。

表4 补喂赖氨酸与苏氨酸对泌乳母马血液矿物质含量的影响

mmol/L

项目	对照组	试验I组	试验II组	试验III组	P值		
					分组	时间	分组 \times 时间
Ca ²⁺	2.60 \pm 0.26	2.46 \pm 0.36	2.49 \pm 0.26	2.52 \pm 0.30	0.131	0.000	0.011
无机磷	1.28 \pm 0.19	1.38 \pm 0.17	1.29 \pm 0.20	1.39 \pm 0.22	0.066	0.079	0.766
Mg ²⁺	1.20 \pm 0.33	1.24 \pm 0.24	1.36 \pm 0.32	1.32 \pm 0.28	0.152	0.212	0.384
Fe ²⁺	46.16 \pm 10.81 ^{ABb}	41.03 \pm 14.48 ^{Bc}	51.08 \pm 8.91 ^{Aa}	40.76 \pm 7.29 ^{Bc}	0.000	0.000	0.000

3 讨论

3.1 补喂赖氨酸与苏氨酸对泌乳母马血液蛋白质代谢相关指标的影响

血液中总蛋白、白蛋白和球蛋白的含量与动物机体对蛋白质的吸收代谢情况息息相关,而尿酸是机体蛋白质分解代谢的产物之一,同时也是评价肾脏健康的重要指标^[10]。对于泌乳期母畜而言,在日粮中摄取的蛋白质一部分参与机体内功能物质的合成或者修

补损伤组织,另一部分经消化后形成氨基酸,进入小肠后被吸收进入肝系膜静脉,再随血液流动汇入门静脉,在肝脏内重新整合后流回心脏,随动脉供血流入阴外动脉,为乳腺合成乳蛋白提供前体物质^[11]。Emery等^[12]研究表明,乳蛋白含量与日粮中蛋白质水平的高低呈正相关,日粮蛋白质水平每增加1%,乳蛋白含量会提高0.02%。而在本研究中,给泌乳母马补喂赖氨酸和苏氨酸后,母马血液中的总蛋白、白蛋白和球蛋白含量却都显著低于对照组。产生此结

果的原因可能与泌乳期合成乳的需求高有关,大量的蛋白质氨基酸通过血液流入乳腺,参与乳蛋白的合成^[13]。同时,已有研究表明,血液中尿酸的含量与总蛋白含量呈显著正相关^[14],在本研究中,给泌乳母马补喂赖氨酸和苏氨酸后,母马血液中的尿酸含量均显著提升,一方面与补喂了赖氨酸和苏氨酸增加了母马体内氮水平有关;另一方面血清尿酸含量与动物机体一些激素的分泌也有关系,如促甲状腺激素与血液中尿酸水平呈线性相关^[15]。泌乳期母马同时处于妊娠期,机体对各种生殖激素的需求会产生巨大变化,而赖氨酸能合成动物需要的各种酶类和体内的激素^[16],因此对血液中尿酸含量产生了影响。

3.2 补喂赖氨酸与苏氨酸对泌乳母马血液糖脂代谢相关指标的影响

血液中的葡萄糖和甘油三脂的含量是反映机体糖脂代谢以及能量转化平衡的重要指标,其含量受动物摄取的日粮营养水平、血液的采集时间和动物的生理状态等多方面影响。从动物摄取的日粮的营养水平来看,当日粮供给的能量不足时,蛋白质可以通过分解转化成糖和脂肪来供能,维持动物机体的正常代谢活动。此外,管武太^[17]研究表明,动物摄取氨基酸平衡的日粮,可以促进胰岛素的分泌,从而降低血糖含量。在本研究中,给泌乳母马补喂赖氨酸和苏氨酸后,母马血液中葡萄糖和甘油三酯含量均低于对照组。产生此结果的原因,一方面可能与对照组母马的能量摄入不足或者氨基酸不平衡,从而导致蛋白质分解成糖和脂肪有关^[18];另一方面可能因为赖氨酸可以调控机体的内分泌激素,促进胰岛素的产生,进而降低了血糖含量,同时赖氨酸能合成肉毒碱参与脂肪的代谢过程,将不饱和脂肪酸转化为能量,促进了脂肪的分解产生甘油三酯^[19]。吴敏等^[20]研究表明,在萨能泌乳羊的相同粗蛋白日粮中补充赖氨酸后,在整个试验期间,试验组母羊血液中的葡萄糖和甘油三酯含量均低于对照组,且在试验的第30天葡萄糖含量显著低于未添加赖氨酸组,在试验的第30天甘油三酯含量显著低于未添加赖氨酸组,与本研究结果趋势一致。血液中总胆红素的含量与肝脏功能的健康程度息息相关。本研究中给泌乳母马补喂不同剂量的赖氨酸和苏氨酸,母马血液中的总胆红素含量均极显著上升,但处于正常水平(5.4~51.4 mmol/L)^[21],产生此结果的原因,可能与血液中白蛋白的下降有关,有研究表明血液中的胆红素可与白蛋白结合后输送到肝脏,经代谢转化后随胆汁排出^[22]。

3.3 补喂赖氨酸与苏氨酸对泌乳母马血液酶活力相关指标的影响

谷丙转氨酶和谷草转氨酶不仅是参与氨基酸代谢

的重要转氨酶,同时也是评价机体肝、肾功能的健康状况的重要指标。血液中的 γ -谷氨酰转移酶主要来自于肝脏,其活性的高低与肝脏健康状况息息相关。据研究,马匹血液中的谷丙转氨酶含量在2.7~20.5 U/L,谷草转氨酶含量在115.7~287.0 U/L, γ -谷氨酰转移酶含量在2.7~22.4 U/L^[21]。孙雅璐^[23]研究发现,给奶山羊补喂过瘤胃赖氨酸后,血液中的谷丙转氨酶和谷草转氨酶活力均低于对照组和88%的基础日粮组,且显著降低谷草转氨酶的活力,与本研究结果一致。在本研究中,给泌乳母马补喂赖氨酸和苏氨酸后,母马血液中的谷丙转氨酶活力极显著降低,尤其是谷草转氨酶活力相较于对照组降低至正常水平内。碱性磷酸酶广泛分布于肝脏、骨骼、肠、肾等组织,其活性的高低在一定程度上反映了动物的生长发育状况^[24]。伍革民等^[25]发现,增加血液中碱性磷酸酶的活性,对动物的生长速度、日增重有帮助。在本研究中随着母马摄取赖氨酸和苏氨酸水平的升高,血液中碱性磷酸酶的含量也随着增加。由于泌乳母马已经达到体成熟,因此,产生此结果的原因可能与泌乳母马摄入赖氨酸和苏氨酸后加快了机体细胞的新陈代谢有关。肌酸激酶主要存在于骨骼肌和平滑肌等组织中,间接反映肌肉的收缩状况以及肌细胞对运动的适应程度^[26]。乳酸脱氢酶主要在机体糖酵解时产生作用,能够催化乳酸和丙酮酸之间的相互转化,促进机体能量代谢^[27]。本研究中,当随着泌乳母马摄入的赖氨酸和苏氨酸水平升高,母马血液中肌酸激酶和乳酸脱氢酶含量也呈上升趋势。说明补喂赖氨酸和苏氨酸可以增强母马的运动能力。此外,有研究表明,血液中的肌酸激酶含量与尿酸呈正相关^[28]。因此母马血液中尿酸含量的升高是产生此结果的可能原因之一。

3.4 补喂赖氨酸与苏氨酸对泌乳母马血液矿物质含量的影响

泌乳母马血液中的矿物质含量对机体健康以及泌乳性能的发挥至关重要。在放牧条件下泌乳母马血液中矿物质主要来源于牧草中,因此促进矿物质离子的吸收对泌乳母马的身体健康以及增加乳中 Ca^{2+} 、无机磷、 Mg^{2+} 的含量意义重大。赖氨酸能够与矿物质元素形成可溶性螯合物,进而促进机体的吸收,如 Ca^{2+} 、无机磷、 Mg^{2+} 等^[29]。本研究结果显示,给母马补喂赖氨酸和苏氨酸后,各组血液中 Ca^{2+} 、无机磷、 Mg^{2+} 并无显著变化,但钙的含量低于对照组,无机磷和 Mg^{2+} 的含量均高于对照组。产生此结果的原因,一方面可能由于赖氨酸促进了母马对无机磷、 Mg^{2+} 等矿物质的吸收,且 Ca^{2+} 与无机磷和 Mg^{2+} 之间存在拮抗关系^[18],无机磷和 Mg^{2+} 的含量升高抑制 Ca^{2+} 的吸收;

另一方面苏氨酸使动物采食量增加可能是母马血液中无机磷和 Mg^{2+} 含量增加的原因之一^[30]。血液中 Fe^{2+} 在体内不仅参与蛋白质的合成及物质代谢，还关系到氧的运输及储存。本研究中，当泌乳母马摄入 60 g/d 的赖氨酸和 40 g/d 的苏氨酸时，母马血液中 Fe^{2+} 含量显著高于其他组。产生此结果的原因可能与赖氨酸以及苏氨酸含量有关，过高或过低剂量都会对 Fe^{2+} 的吸收产生影响，低剂量情况下，赖氨酸对 Fe^{2+} 的吸收无明显影响，而高剂量的赖氨酸摄入，会抑制机体对 Fe^{2+} 的吸收^[31-32]，主要通过铜、锌、锰和钴等离子竞争吸收结合位点而抑制 Fe^{2+} 的吸收。

综上，在本试验条件下，泌乳母马补喂赖氨酸和苏氨酸可降低血糖、甘油三酯、谷草转氨酶和谷丙转氨酶的活力，提高总胆红素、无机磷、 Mg^{2+} 和 Fe^{2+} 的含量，促进泌乳母马的健康，且以每匹泌乳母马补饲 60 g/d 的赖氨酸和 40 g/d 的苏氨酸时作用效果更佳。

参考文献：

[1] 郭云. 补喂植物雌激素对泌乳期伊犁马产奶量、乳成分及血液生化指标的影响 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.

[2] GRAHAM-THIERS P M, WILSON J A, HAUGHT J, et al. Relationships between dietary, plasma, and muscle amino acids in horses [J]. *Prof Anim Sci*, 2012, 28 (3): 351-357.

[3] GRAHAM P M, OTT E A, BRENDEMUHL J H, et al. The effect of supplemental lysine and threonine on growth and development of yearling horses [J]. *J Anim Sci*, 1994, 72 (2): 380-386.

[4] 罗钧秋, 陈代文. 赖氨酸对蛋白质代谢的影响及其可能调控机制 [J]. *饲料工业*, 2006 (16): 40-43.

[5] 张思聪, 张艳蕾, 李福昌. 苏氨酸的代谢及其营养生理作用 [J]. *饲料研究*, 2012 (7): 14-16.

[6] 姜富贵, 李德鹏, 成海建, 等. 过瘤胃氨基酸对泌乳早期奶牛生产性能、乳成分和血液生化指标的影响 [J]. *中国乳业*, 2021 (7): 25-31.

[7] 崔斌. 日粮苏氨酸水平对家兔生产性能、氮代谢和血液生化指标的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.

[8] Committee on Nutrient Requirements of Horses, National research council. nutrient requirements of horses: sixth revised edition [M]. N. W Washington: The National Academies Press, 2007: 1-4.

[9] MOK C H, URSCHEL K L. Amino acid requirements in horses [J]. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2020, 33 (5): 679-695.

[10] GLADE M J. Nutrition and performance of racing thoroughbreds [J]. *Equine Veterinary Journal*, 1983, 15 (1): 31-36.

[11] 安鹏鹏. 不同日粮类型对泌乳奶牛乳蛋白前体物代谢的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.

[12] EMERY R S. Feeding for increased milk protein [J]. *Journal of Dairy Science*, 1978, 61 (6): 825-828.

[13] 张牧臣, 高海娜, 赵圣国, 等. 乳腺内氨基酸调控乳蛋白合成的

分子作用机制 [J]. *动物营养学报*, 2016, 28 (5): 1309-1316.

[14] 何宝祥, 马径军, 张宇, 等. 围产期奶牛肾功能的动态变化 [J]. *中国兽医杂志*, 2009, 45 (8): 45-46.

[15] CHAO G Q, ZHU Y, FANG L Z. Retrospective analysis of the correlation between uric acid and thyroid hormone in people with normal thyroid function [J]. *J Diabetes Res*, 2019, 2019: 5904264.

[16] LU M K. Chemical and biochemical perspectives of protein lysine methylation [J]. *Chem Rev*, 2018, 118 (14): 6656-6705.

[17] 管武太. 理想氨基酸模式提高猪生产性能的机理 [D]. 北京: 中国农业大学, 1997.

[18] 杨凤. 动物营养学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 44-58.

[19] 王光柱. 赖氨酸在单胃动物营养方面的研究进展 [J]. *畜牧兽医科学 (电子版)*, 2021 (12): 191-192.

[20] 吴敏, 罗军, 姚大为, 等. 日粮中不同蛋白质和 L-赖氨酸水平对西农萨能羊泌乳性能和血浆生化指标的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2013, 49 (9): 34-38.

[21] FRASER C M. 默克兽医手册 [M]. 韩谦, 郑世军, 郑德明. 等译. 北京: 中国农业大学出版社, 1997: 782-783.

[22] 王俊东, 刘宗平. 兽医临床诊断学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 237-239.

[23] 孙雅璐. 蛋氨酸、赖氨酸补饲对奶山羊泌乳性能及氮利用效率的影响研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2020.

[24] 孟梅娟, 樊磊, 汤海江, 等. 非常规饲料梯度替代日粮中的精料对育肥羊血液生化指标的影响 [J]. *饲料研究*, 2019, 42 (2): 5-8.

[25] 伍革民, 柳小春, 施启顺. 血浆酶活性与猪生产性状及其杂种优势的相关研究 [J]. *中国兽医学报*, 1999 (3): 34-36.

[26] DRENT M, COBBEN N A, HENERSON R F. et al. Usefulness of lactate dehydrogenase and its isoenzymes as indicators of lung damage or inflammation [J]. *Eur Respir J*, 1996, 9 (8): 1736-1742.

[27] 姜辉, 孙光明, 张强, 等. 牛至油对牦牛生长性能及血清指标的影响 [J]. *湖北农业科学*, 2022, 61 (13): 120-124.

[28] CASTEJÓ F, TRIG P, MUÑOZ A, et al. Uric acid responses to endurance racing and relationships with performance, plasma biochemistry and metabolic alterations [J]. *Equine Vet J*, 2006, 38 (S36): 70-73.

[29] 葛可右. 中国营养科学全书 [M]. 北京: 人民出版社, 2004: 102, 131.

[30] RODEHUTSCORD M, JACOBS S, PACK M, et al. Response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growing from 50 to 170 g to supplements of either L-arginine or L-threonine in a semipurified diet [J]. *J Nutr*, 1995, 125 (4): 970-975.

[31] CROWE A, MORGAN E H. Iron and copper interact during their uptake and deposition in the brain and other organs of developing rats exposed to dietary excess of the two metals [J]. *J Nutr*, 1996, 126 (1): 183-194.

[32] 周桂莲, 韩友文. 影响铁吸收利用因素研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2001 (1): 6-13.