

# 补喂 *L*-精氨酸或 *N*-氨甲酰谷氨酸对伊犁马运动性能和血浆生化指标的影响

张仕琦 李晓斌 张文杰 韩明 王世昌 杨开伦\*

(新疆农业大学动物科学学院,新疆肉乳用草食动物营养重点实验室,乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 本试验旨在探究补喂 *L*-精氨酸或 *N*-氨甲酰谷氨酸对伊犁马运动性能和血浆生化指标的影响。选取 15 匹年龄为 2 岁、体重  $[(388.88 \pm 23.24) \text{ kg}]$  相近并经过严格训练的速度赛用伊犁马,分为 3 组,每组 5 匹(3 ♂+2 ♀),每日进行等强度训练。对照组补喂 *L*-丙氨酸,试验 I 组补喂 *L*-精氨酸,试验 II 组补喂 *N*-氨甲酰谷氨酸,进行为期 4 周的试验。在试验第 28 天进行 3 600 m 速度赛,并采集血液样品。结果表明:与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组试验初始和试验第 28 天时的 3 600 m 速度赛平均速度差异不显著 ( $P > 0.05$ );试验 I 组、试验 II 组血浆一氧化氮含量分别较对照组升高了 27.53% ( $P < 0.01$ )、18.10% ( $P < 0.01$ ),且试验 I 组较试验 II 组升高了 7.99% ( $P < 0.01$ );试验 I 组、试验 II 组血浆氨含量分别较对照组降低了 25.44% ( $P < 0.01$ )、14.04% ( $P < 0.01$ ),且试验 I 组较试验 II 组降低了 13.27% ( $P < 0.01$ );血浆 5-羟色胺、葡萄糖、丙酮酸含量各组间无显著差异 ( $P > 0.05$ );与对照组相比,试验 I 组血浆乳酸含量极显著降低 ( $P < 0.01$ ),试验 II 组则无显著变化 ( $P > 0.05$ );试验 I 组、试验 II 组血浆过氧化氢酶活性分别较对照组升高了 24.00% ( $P < 0.01$ )、21.33% ( $P < 0.01$ );试验 I 组、试验 II 组血浆抗羟基自由基能力分别较对照组升高了 5.48% ( $P < 0.05$ )、8.47% ( $P < 0.05$ )。因此,补喂 *L*-精氨酸或 *N*-氨甲酰谷氨酸均可提高伊犁马血浆一氧化氮含量和抗氧化能力,降低血浆氨含量,且补喂 *L*-精氨酸还能够降低伊犁马血浆乳酸含量,但二者对伊犁马 3 600 m 速度赛的平均速度无显著影响。*L*-精氨酸、*N*-氨甲酰谷氨酸可作为营养调控剂,用于缓解运动马运动疲劳或促进运动后的疲劳恢复。

**关键词:** 伊犁马; *L*-精氨酸; *N*-氨甲酰谷氨酸; 运动性能; 抗氧化能力

中图分类号: S816; G882.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)07-3188-09

*L*-精氨酸 (*L*-arginine, *L*-Arg) 是合成一氧化氮 (NO)、肌酸、多胺等功能物质的前体<sup>[1]</sup>。运动过程中, *L*-精氨酸及其代谢产物 NO 在调节血管张力<sup>[2]</sup>、抑制机体氧化应激<sup>[3]</sup>、保护心肌<sup>[4]</sup>、促进葡萄糖转运<sup>[5]</sup>、运动后肌糖原恢复<sup>[6]</sup> 以及降低血液中氨含量<sup>[7]</sup> 等多种生理过程中发挥重要作用,有助于运动能力的发挥。*N*-氨基甲酰谷氨酸 (*N*-carbamylglutamate, NCG) 是激活精氨酸合成途径关键酶氨甲酰磷酸合成酶 - I (carbamoyl phos-

phate synthase - I, CPS - I) 内源性必需辅助因子 *N*-乙酰谷氨酸的结构类似物,能够提高精氨酸的内源性合成,是一种无毒性的饲料添加剂<sup>[8]</sup>。目前, *L*-精氨酸作为运动营养补充剂已在运动员、小鼠中均有研究。研究发现,在次极限运动前 1 周口服 *L*-精氨酸,可显著降低男性足球运动员血压指数,提高血氧饱和度,从而提高运动能力<sup>[9]</sup>; 在运动前 90 min 为健康男性注射 *L*-精氨酸盐酸盐溶液显著降低了运动后血浆乳酸和氨的含量<sup>[10]</sup>;

收稿日期: 2018-12-18

基金项目: 自治区“十三五”重大专项-运动马健康养殖共性技术研发(2017A01002-2-01)

作者简介: 张仕琦(1993—),男,新疆额敏人,硕士研究生,研究方向草食动物营养代谢。E-mail: 1505521966@qq.com

\* 通信作者: 杨开伦,教授,博士生导师, E-mail: yangkailun2002@aliyun.com

给小鼠力竭性游泳运动前补充 L-精氨酸增强了骨骼肌抗氧化系统并使运动时间延长<sup>[11]</sup>。鉴于 L-精氨酸有益于运动员和小鼠运动代谢调节的研究结果,本试验选用速度赛用伊犁马为研究对象,探究补充 L-精氨酸、NCG 对伊犁马运动性能和血浆生化指标的影响,为运动马营养调控剂的研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计及饲料组成

挑选 15 匹年龄为 2 岁、体重 $[(388.88 \pm 23.24) \text{ kg}]$ 相近且经过严格训练的速度赛用伊犁马,分为 3 组,分别为对照组、试验 I 组、试验 II 组,每组 5 匹(3 ♂+2 ♀),进行为期 4 周的试验。

试验马匹每天饲喂等量试验饲料,试验饲料由 8 kg 干牧草和 4 kg 精料补充料组成,不同组马匹所喂精料补充料不同。试验用精料补充料按等能等氮设计配制。对照组精料补充料中添加 30.75 g/kg L-丙氨酸[相当于补充 123 g/(匹·d) L-丙氨酸];试验 I 组参照 Kelley 等<sup>[12]</sup>的研究结果,在精料补充料中添加 15.00 g/kg L-精氨酸[相当于补充 60 g/(匹·d) L-精氨酸];NCG 在运动马中的研究报道少见,因此试验 II 组参考了大鼠<sup>[13]</sup>、猪<sup>[14]</sup>研究中 NCG 的添加量,精料补充料中添加 3.00 g/kg NCG、27.90 g/kg L-丙氨酸[相当于补充 12 g/(匹·d) NCG、112 g/(匹·d) L-丙氨酸]。试验饲料组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)

%

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II
原料 Ingredients			
黄玉米 Yellow corn	15.30	15.83	15.30
小麦麸 Wheat bran	6.00	6.00	6.00
豆粕 Soybean meal (44%CP)	9.00	9.00	9.00
磷酸二氢钙 $\text{CaH}_2\text{PO}_4$	1.00	1.00	1.00
预混料 Premix <sup>1)</sup>	0.33	0.33	0.33
食盐 NaCl	0.67	0.67	0.67
L-丙氨酸 L-alanine	1.03		0.93
L-精氨酸 L-arginine		0.50	
N-氨甲酰谷氨酸 NCG			0.10
青干草 Green hay	66.67	66.67	66.67
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>			
干物质 DM	91.74	91.72	91.75
粗蛋白质 CP	13.76	13.59	13.73
中性洗涤纤维 NDF	43.54	43.38	43.66
酸性洗涤纤维 ADF	27.72	27.74	27.62
钙 Ca	0.62	0.59	0.60
磷 P	0.43	0.37	0.42
总能 GE/(MJ/kg)	18.61	18.76	18.61

<sup>1)</sup> 预混料为每千克精料补充料提供 The premix provided the following per kg of the concentrate supplement: VA 15 mg, VB<sub>1</sub> 21.26 mg, VB<sub>2</sub> 333.2 mg, VB<sub>6</sub> 1.22 mg, VD 2.2 mg, VE 800 mg, 生物素 biotin 5 mg, 泛酸 pantothenic acid 4.67 mg, 烟酰胺 nicotinamide 12.12 mg, Cu (as copper sulfate) 42.03 mg, Fe (as ferrous sulfate) 111.91 mg, Mn (as manganese sulfate) 185.87 mg, Zn (as zinc sulfate) 176.05 mg, I (as potassium iodide) 29.51 mg, Se (as sodium selenite) 42.27 mg, Co (as cobalt chloride) 4.13 mg。

<sup>2)</sup> 营养水平均为实测值。Nutrient levels were measured values.

## 1.2 饲养管理

试验马匹单厩饲养管理,自由饮水。每天每匹马饲喂 8 kg 干牧草和 4 kg 精料补充料,精料补充料分 3 次补喂,分别在 07:00、15:00 和 22:00。饲喂时先粗后精,先采食粗饲料 1 kg,再补给精料补充料,待精料补充料采食完毕后,继续添喂粗饲料。每天按时打扫马厩,清除粪便和垫料,更换垫草。

## 1.3 训练方案及场地

试验马匹每天进行 1 次速度训练,马匹训练时间安排在 11:30—13:30 或者 16:00—18:00。首先进行热身训练(骑师骑乘试验马先在草道上慢步 2 圈),随即进入沙道,进行 5 圈快步训练,然后 7 圈慢步训练,最后 6 圈跑步训练。训练场地为新疆昭苏种马场马匹训练赛道,赛道由椭圆形沙道和草道组成。内部沙道由细沙构成,深度 40 cm,底部为土基,道宽 21 m,周长为 800 m;外部草道由天然的牧草形成,宽 20 m,周长为 1 000 m。

## 1.4 样品采集及指标测定

### 1.4.1 平均速度测定

分别在试验初始和试验第 28 天时进行 3 600 m 速度赛,使用秒表记录比赛用时,计算平均速度。

### 1.4.2 心率测定

分别在试验第 28 天进行 3 600 m 速度赛的赛前 2 h(备好鞍前)、赛后即刻、赛后 2 h 测定每匹试验马的心率。

### 1.4.3 血浆生化指标测定

分别在试验第 28 天进行 3 600 m 速度赛的赛前 2 h、赛后即刻、赛后 2 h 使用 5 mL 肝素钠抗凝管和 4 mL 氟化钠抗凝管于马匹颈静脉采集血液各 1 管,以 3 500 r/min 离心 10 min,收集上清血浆,分装,液氮冻存。

血浆过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、超氧化物歧化酶(T-SOD)活性,总抗氧化能力(T-AOC),抗超氧阴离子能力(ASA),抗羟自由基能力(AHR),丙二醛(MDA)、NO、葡萄糖、乳酸、丙酮酸和氨含量使用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定;血浆 5-羟色胺(5-HT)含量使用北京普瑞华盛生物科技有限公司生产的试剂盒测定。

## 1.5 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2010 进行初步整理,3 600 m 速度赛平均速度、心率指标采用 SAS 8.1 统计软件的 ANOVA 程序进行单因素方差分析,差异显著则用 Duncan 氏法进行多重比较,结果以“平均值±标准差”(mean±SD)表示,以  $P < 0.05$  为差异显著水平。血浆生化指标采用 SAS 8.1 软件中 Mixed 混合模型统计有重复观测的数据,固定效应有试验处理(Trt)、采样时间点(Date)及二者之间的交互作用(Trt×Date),以试验处理(Trt)为主进行分析讨论。方差结构采用自回归(AR)模型,数据以最小二乘均数和标准误(SE)表示,采用 Pdiff 方法进行多重比较,以  $P < 0.05$  为差异显著水平, $P < 0.01$  为差异极显著水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马运动性能的影响

#### 2.1.1 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马 3 600 m 速度赛平均速度的影响

补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马 3 600 m 速度赛平均速度的影响见表 2。与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组试验初始和试验第 28 天时 3 600 m 速度赛平均速度均无显著差异( $P > 0.05$ );与试验初始时相比,试验第 28 天时对照组、试验 I 组、试验 II 组 3 600 m 速度赛的平均速度均有所提高,其中试验 I 组提高了 7.22%,试验 II 组提高了 5.50%,对照组提高了 4.63%。

#### 2.1.2 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马 3 600 m 速度赛赛前、赛后心率的影响

补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马 3 600 m 速度赛赛前、赛后心率的影响见表 3。各组马匹赛前 2 h 生理状态稳定,心率差异不显著( $P > 0.05$ )。与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组赛后即刻心率差异不显著( $P > 0.05$ );赛后 2 h 时,各组马匹心率恢复到正常水平,各组间差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.2 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆生化指标的影响

#### 2.2.1 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆 NO、氨、5-HT 含量的影响

补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆 NO、氨、5-HT 含量的影响见表 4。与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组血浆 NO 含量分别升高了 27.53%、

18.10%,且试验 I 组还比试验 II 组升高了 7.99%,组间差异均达到极显著水平 ( $P<0.01$ );与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组血浆氨含量分别降低了 25.44%、14.04%,且试验 I 组还比试验 II 组降低了 13.27%,组间差异均达到极显著水平 ( $P<0.01$ );血浆 5-HT 含量各组间无显著差异 ( $P>0.05$ )。

由表 4 可知,试验处理和采样时间点对伊犁马血浆 NO、氨含量均有极显著影响 ( $P<0.01$ ),且二者的交互作用对血浆 NO 含量存在显著影响 ( $P<0.05$ );此外,采样时间点还对伊犁马血浆 5-HT 含量有极影响显著 ( $P<0.05$ )。

表 2 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马 3 600 m 速度赛平均速度的影响

Table 2 Effects of supplemented with L-arginine or NCG on average speed of 3 600 m speed race in Yili horses ( $n=5$ )

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	P 值 P-value
试验初始 Initial of trial	11.24±1.02	11.08±0.69	10.91±0.24	0.582
试验第 28 天 Day 28 of trial	11.75±0.87	11.87±0.96	11.51±0.49	0.587

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著 ( $P>0.05$ ),不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。表 3 同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $P>0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ). The same as Table 3.

表 3 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马 3 600 m 速度赛赛前、赛后心率的影响

Table 3 Effects of supplemented with L-arginine or NCG on heart rate before and after of 3 600 m speed race in Yili horses ( $n=5$ )

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	P 值 P-value
赛前 2 h Pre-race 2 h	39.80±0.45	39.20±2.28	40.00±2.00	0.510
赛后即刻 Immediately at post-race	80.80±8.56	84.20±6.42	83.20±6.72	0.497
赛后 2 h Post-race 2 h	41.60±3.58	42.20±2.86	43.20±4.82	0.543

表 4 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆 NO、氨、5-HT 含量的影响

Table 4 Effects of supplemented with L-arginine or NCG on plasma NO, ammonia and 5-HT contents in Yili horses ( $n=5$ )

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	标准误 SE	P 值 P-value		
					Trt	Date	Trt×Date
一氧化氮 NO/( $\mu\text{mol/L}$ )	134.94 <sup>C</sup>	172.09 <sup>A</sup>	159.36 <sup>B</sup>	3.14	<0.001	<0.001	0.010
氨 Ammonia/( $\mu\text{mol/L}$ )	197.77 <sup>A</sup>	147.45 <sup>C</sup>	170.00 <sup>B</sup>	6.23	<0.001	<0.001	0.052
5-羟色胺 5-HT/( $\text{ng/mL}$ )	80.46	82.37	80.25	1.67	0.616	<0.001	0.393

Trt: 试验处理; Date: 采样时间点。同行数据肩标相同小写字母或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 ( $P<0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著 ( $P<0.01$ )。下表同。

Trt: trial treatment; Date: sampling time point. In the same row, values with the same small letter or no letter superscripts mean no significant difference ( $P>0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ( $P<0.01$ ). The same as below.

### 2.2.2 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆葡萄糖、乳酸、丙酮酸含量的影响

补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆葡萄糖、乳酸、丙酮酸含量的影响见表 5。与对照组相比,

试验 I 组、试验 II 组血浆葡萄糖和丙酮酸含量无显著差异 ( $P>0.05$ );试验 I 组血浆乳酸含量较对照组极显著降低 ( $P<0.01$ ),降低了 16.75%,但试验 II 组与对照组无显著差异 ( $P>0.05$ )。

由表 5 可知,采样时间点对伊犁马血浆葡萄糖、乳酸、丙酮酸含量均有极显著影响( $P<0.01$ ),试验处理对血浆乳酸含量有极显著影响( $P<$

0.01),二者的交互作用对血浆葡萄糖、乳酸含量有极显著影响( $P<0.01$ )。

表 5 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆葡萄糖、乳酸、丙酮酸含量的影响

Table 5 Effects of supplementation with L-arginine or NCG on plasma glucose, lactic acid and pyruvate contents in Yili horses ( $n=5$ )

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	标准误 SE	P 值 P-value		
					Trt	Date	Trt×Date
葡萄糖 Glucose/(mmol/L)	7.40	7.30	7.29	0.16	0.873	<0.001	<0.001
乳酸 Lactic acid/(mmol/L)	5.97 <sup>Bb</sup>	4.97 <sup>Aa</sup>	5.94 <sup>Bb</sup>	0.22	0.004	<0.001	<0.001
丙酮酸 Pyruvate/( $\mu$ mol/mL)	0.29	0.33	0.33	0.01	0.117	<0.001	0.920

### 2.2.3 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆抗氧化指标的影响

补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆抗氧化指标的影响见表 6。与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组血浆 CAT 活性极显著升高( $P<0.01$ ),分别升高了 24.00%、21.33%;与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组血浆 AHR 显著升高( $P<0.05$ ),分别升高了 5.48%、8.47%。

由表 6 可知,采样时间点对伊犁马血浆 SOD、CAT、GSH-Px 活性以及 T-AOC、AHR 和 ASA 有极显著影响( $P<0.01$ ),对血浆 MDA 含量有显著影响( $P<0.05$ ),试验处理对血浆 CAT 活性有极显著影响( $P<0.01$ ),对血浆 AHR 有显著影响( $P<0.05$ ),且二者的交互作用对血浆 MDA 含量、AHR 有极显著影响( $P<0.01$ ),对血浆 GSH-Px 活性有显著影响( $P<0.05$ )。

表 6 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆抗氧化指标的影响

Table 6 Effects of supplemented with L-arginine or NCG on plasma antioxidant indices in Yili horses ( $n=5$ )

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	标准误 SE	P 值 P-value		
					Trt	Date	Trt×Date
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	2.95	3.34	3.12	0.17	0.300	0.026	0.006
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	59.69	55.91	58.26	0.93	0.685	<0.001	0.298
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	1.50 <sup>Bb</sup>	1.86 <sup>Aa</sup>	1.82 <sup>Aa</sup>	0.08	0.008	<0.001	0.906
总抗氧化能力 T-AOC/(mmol/L)	1.17	1.21	1.22	0.02	0.095	0.001	0.698
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	308.39	326.80	349.62	16.69	0.230	<0.001	0.026
抗羟自由基能力 AHR/(U/mL)	625.25 <sup>b</sup>	659.54 <sup>a</sup>	678.20 <sup>a</sup>	11.93	0.012	<0.001	<0.001
抗超氧阴离子能力 ASA/(U/L)	203.18	195.55	207.89	3.92	0.094	<0.001	0.380

## 3 讨论

### 3.1 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马运动性能的影响

补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马 3 600 m 速度赛的平均速度均无显著影响。与试验初始时相比,试验第 28 天时试验 I 组、试验 II 组的平均速度提高幅度均大于对照组,虽未达到统计学上的差异显著水平,但在实际比赛中,运动马成绩在秒

水平上的差异或优势即可使比赛排名有很大的差别,因此补喂 L-精氨酸或 NCG 对运动马的运动能力有一定的积极作用。研究证明,L-精氨酸及其代谢产物 NO 等在运动过程中能促进机体运动能力的发挥。通过补充 L-精氨酸提高 NO 的生物利用度,可以降低健康男性中等强度运动的氧气( $O_2$ )消耗量,延长剧烈运动时的耗竭时间<sup>[15]</sup>;摔跤运动员运动前摄入 L-精氨酸对递增运动的运动能力和代谢有积极影响<sup>[16]</sup>。

### 3.2 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆生化指标的影响

#### 3.2.1 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆 NO 含量的影响

补喂 L-精氨酸或 NCG 均极显著提高了伊犁马血浆 NO 含量。L-精氨酸是机体多种非肝细胞合成 NO 的重要底物来源<sup>[17]</sup>,在分子氧参与下可共同合成 NO,而补充 L-精氨酸或 NCG 都增加了 NO 的合成底物,因此提高了机体血浆 NO 的含量。健康志愿者注射 L-精氨酸升高了血浆中 NO 的副产物环磷酸鸟苷(cGMP)和瓜氨酸的含量,从另一方面证明注射 L-精氨酸可提升血浆 NO 含量<sup>[18]</sup>;在水貂饲料中添加 NCG 可提高水貂血浆精氨酸含量,继而提高血浆 NO 含量<sup>[19]</sup>。NO 具有调控多种组织(包括骨骼肌)功能的作用,如骨骼肌的血管舒张、蛋白质合成、神经胶质细胞的激活、葡萄糖稳态等都可被 NO 调控,也能通过提高 cGMP 的含量使平滑肌和血管舒张<sup>[20]</sup>,这些作用都与机体运动能力密切相关,并且有研究证明补充 L-精氨酸可以提高大鼠血清 NO 含量和延长力竭运动的时间<sup>[21]</sup>,因此本试验补喂 L-精氨酸或 NCG 提高了血浆 NO 含量可能对伊犁马运动性能的发挥产生有益影响。

#### 3.2.2 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆氨含量的影响

补喂 L-精氨酸或 NCG 均极显著降低了伊犁马血浆氨含量,可能与机体 L-精氨酸含量升高加快肝脏中尿素合成,并且刺激天门冬氨酸酶分泌,增加草酰乙酸和谷氨酸的形成,通过谷氨酰胺酶促反应,加速氨代谢,减少氨的累积有关<sup>[10]</sup>。研究表明,田径运动员补充 L-精氨酸能够显著降低力竭性运动后血液中氨的含量<sup>[22]</sup>,而口服 NCG 可加速氨代谢,避免高氨血症的发生<sup>[23]</sup>。

在运动过程中,由于肌肉增加收缩频率,加速一磷酸腺苷脱氨(嘌呤核苷酸循环)以及支链氨基酸氧化供能脱氨,使得血液中氨含量上升<sup>[24]</sup>。血液中氨含量较高时可恶性改变大脑中星形胶质细胞形态,也可通过影响能量代谢以及神经递质的传递来限制神经元内重要的信号通路<sup>[25]</sup>,引起中枢疲劳;并且高含量的氨可导致肌肉收缩功能降低,降低运动性能<sup>[26-27]</sup>。因此,补喂 L-精氨酸或 NCG 可降低伊犁马运动代谢产生的氨,对防止伊犁马运动后氨中毒或运动疲劳的产生具有积极作用。

#### 3.2.3 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆乳酸含量的影响

补喂 L-精氨酸极显著降低了伊犁马血浆乳酸含量,可能是补充 L-精氨酸刺激了 L-精氨酸-NO 通路所致。据报道,在马匹标准运动试验中,注射一氧化氮合成酶(NOS)抑制剂(N-硝基-L-精氨酸甲酯),可抑制 NO 合成,使血浆乳酸含量升高<sup>[28]</sup>;也有研究表明 NO 可促进葡萄糖转运入骨骼肌细胞,促进肌糖原利用,减少糖酵解过程中乳酸的生成<sup>[29-30]</sup>。因此,补充 L-精氨酸可能通过提高 NOS 活性和 NO 含量而减少乳酸的生成。健康受试者在负荷运动前静脉注射 L-精氨酸盐酸盐可显著降低氨和乳酸峰值的研究结果也证明了补充 L-精氨酸可降低运动代谢产生的乳酸<sup>[10]</sup>。补喂 NCG 对伊犁马血浆乳酸含量无显著影响,可能是补喂量较低,因此,NCG 用于改善伊犁马运动成绩的适宜补喂剂量需要进一步研究。

#### 3.2.4 补喂 L-精氨酸或 NCG 对伊犁马血浆抗氧化指标的影响

补喂 L-精氨酸或 NCG 均极显著提高了伊犁马血浆 CAT 活性,显著提高了血浆 AHR,说明补喂 L-精氨酸或 NCG 可以提高伊犁马机体的抗氧化能力。运动中 NOS 有个重要特征:不仅能催化合成 NO,也能产生超氧阴离子。在不同运动负荷状态下,L-精氨酸缺乏时 NOS 生成超氧阴离子,L-精氨酸充足时可减少超氧阴离子的生成,说明 L-精氨酸有一定的抗氧化作用<sup>[31]</sup>。研究发现,大鼠饲料中补充 L-精氨酸能有效提高力竭性运动后组织和血清中 CAT 活性、NO 含量和 ASA<sup>[32]</sup>;给处于氧化应激状态下的大鼠补充精氨酸可提高血浆谷胱甘肽(GSH)含量、ASA、CAT 活性,补充 NCG 可提高血浆 T-AOC、ASA 和 AHR<sup>[13]</sup>;仔猪饲料中添加 0.08%NCG 能够提高血浆中 GSH 含量和谷丙转氨酶(ALT)活性,也可提高抗氧化能力<sup>[33]</sup>。因此,补喂 L-精氨酸或 NCG 提高机体抗氧化能力的作用可能具有普遍性。运动过程中机体产生的活性氧(ROS)如羟基自由基等增加,ROS 为达到更稳定的结构,具有很强的夺取电子能力,进而引起各种细胞成分的氧化损伤,当 ROS 的产生量超过抗氧化系统适应能力时,机体出现氧化应激反应<sup>[34]</sup>。本试验补喂 L-精氨酸或 NCG 均提高了伊犁马血浆抗氧化能力,降低了运动马机体氧化应激状态,延缓了机体疲劳的发生。

竞技马的运动性能除了受基因调控和运动训练的影响外,科学的营养调控也是重要的影响因素。通过补充功能性添加剂提高竞技马匹运动能力或减缓损害机体性能问题的发生,是营养调控的重要手段之一<sup>[35]</sup>。补喂 *L*-精氨酸或 NCG 可防止伊犁马比赛、日常训练后发生的氨中毒,提高机体的抗氧化能力,补喂 *L*-精氨酸还可防止产生过多乳酸。因此,*L*-精氨酸、NCG 可作为营养调控剂,用于缓解运动马运动疲劳或促进运动后的疲劳恢复。

#### 4 结 论

在本试验条件下,补喂 *L*-精氨酸或 NCG 均可提高伊犁马血浆 NO 含量、抗氧化能力,并降低血浆氨含量,且补喂 *L*-精氨酸还能够降低伊犁马血浆乳酸含量,但二者对伊犁马 3 600 m 速度赛的平均速度均无显著影响。*L*-精氨酸、NCG 可作为营养调控剂,用于缓解运动马运动疲劳或促进运动后的疲劳恢复。

#### 参考文献:

- [ 1 ] MORRIS S M, Jr. Arginine: beyond protein [ J ]. American Journal of Clinical Nutrition, 2006, 83 ( 2 ) : 508S-512S.
- [ 2 ] WIESINGER H. Arginine metabolism and the synthesis of nitric oxide in the nervous system [ J ]. Progress in Neurobiology, 2001, 64 ( 4 ) : 365-391.
- [ 3 ] LV M, YU B, MAO X B, et al. Responses of growth performance and tryptophan metabolism to oxidative stress induced by diquat in weaned pigs [ J ]. Animal, 2012, 6 ( 6 ) : 928-934.
- [ 4 ] EVOY D, LIEBERMAN M D, FAHEY III T J, et al. Immunonutrition: the role of arginine [ J ]. Nutrition, 1998, 14 ( 7/8 ) : 611-617.
- [ 5 ] MCCONELL G K, KINGWELL B A. Does nitric oxide regulate skeletal muscle glucose uptake during exercise? [ J ]. Exercise and Sport Sciences Reviews, 2006, 34 ( 1 ) : 36-41.
- [ 6 ] 刘慧莉,刘无逸.耐力训练对大鼠力竭运动后肌糖原恢复与左旋精氨酸的影响 [ J ]. 中国临床康复, 2005, 9 ( 16 ) : 184-186.
- [ 7 ] 唐量,刘小杰,熊正英.运动与部分条件性氨基酸代谢 [ J ]. 陕西师范大学学报 ( 自然科学版 ), 2000, 28 ( 2 ) : 57-60.
- [ 8 ] WU G Y, KNABE D A, KIM S W. Arginine nutrition in neonatal pigs [ J ]. Journal of Nutrition, 2004, 134 ( 10 ) : 2783S-2790S.
- [ 9 ] YAMAN H, TIRYAKISONMEZ G, GUERL K. Effects of oral *L*-arginine supplementation on vasodilation and O<sub>2</sub> max in male soccer players [ J ]. Biomedical Human Kinetics, 2010, 2 : 25-29.
- [ 10 ] SCHAEFER A, PIQUARD F, GENY B, et al. *L*-arginine reduces exercise-induced increase in plasma lactate and ammonia [ J ]. International Journal of Sports Medicine, 2002, 23 ( 6 ) : 403-407.
- [ 11 ] 田吉明,丁树哲,汪军.补充 *L*-精氨酸对力竭性游泳导致的小鼠骨骼肌氧化性损伤的保护作用 [ J ]. 中国体育科技, 2007, 43 ( 1 ) : 125-127, 132.
- [ 12 ] KELLEY D E, WARREN L K, MORTENSEN C J. Orally supplemented *L*-arginine impairs amino acid absorption depending on dose in horses [ J ]. Journal of Animal Science, 2014, 92 ( 12 ) : 5560-5566.
- [ 13 ] 肖亮.精氨酸、*N*-氨甲酰谷氨酸、谷氨酰胺对大鼠营养代谢与抗氧化能力的影响 [ D ]. 硕士学位论文.雅安:四川农业大学, 2015.
- [ 14 ] 周笑犁,刘俊锋,吴琛,等.精氨酸和 *N*-氨甲酰谷氨酸对环江香猪脂质代谢的影响 [ J ]. 动物营养学报, 2014, 26 ( 4 ) : 1055-1060.
- [ 15 ] BAILEY S J, WINYARD P G, VANHATALO A, et al. Acute *L*-arginine supplementation reduces the O<sub>2</sub> cost of moderate-intensity exercise and enhances high-intensity exercise tolerance [ J ]. Journal of Applied Physiology, 2010, 109 ( 5 ) : 1394-1403.
- [ 16 ] YAVUZ H U, TURNAGOL H, DEMIREL H. Pre-exercise arginine supplementation increases time to exhaustion in elite male wrestlers [ J ]. Biology of Sport, 2014, 31 ( 3 ) : 187-191.
- [ 17 ] FERON O, MICHEL T. Cell and molecular biology of nitric oxide synthases [ M ] // LOSCALZO J, VITA J A. Nitric oxide and the cardiovascular system. Totowa, NJ: Humana Press, 2000.
- [ 18 ] HISHIKAWA K, NAKAKI T, TSUDA M, et al. Effect of systemic *L*-arginine administration on hemodynamics and nitric oxide release in man [ J ]. Japanese Heart Journal, 1992, 33 ( 1 ) : 41-48.
- [ 19 ] 董晓静,崔凯,马泽芳,等.*N*-氨甲酰谷氨酸对育成期水貂生长性能、营养物质消化率、氮代谢及血清生化指标的影响 [ J ]. 畜牧兽医学报, 2018, 49 ( 6 ) : 1194-1203.
- [ 20 ] ÁLVAREZ T S, MEIRELLES C M, BHAMBHANI Y N, et al. *L*-arginine as a potential ergogenic aid in healthy subjects [ J ]. Sports Medicine, 2011, 41 ( 3 ) :

- 233-248.
- [21] 李秀林,熊伟,谢成超.L-精氨酸对大鼠递增负荷运动至疲劳后血清 NO、BUN 等指标的影响[J].广州体育学院学报,2006,26(6):85-87.
- [22] 曹艳霞.补充精氨酸对力竭性运动后氨代谢与免疫功能的影响[J].西北大学学报(自然科学版),2015,45(4):606-610.
- [23] GEBHARDT B, VLAHO S, FISCHER D, et al. *N*-carbamylglutamate enhances ammonia detoxification in a patient with decompensated methylmalonic aciduria [J]. *Molecular Genetics and Metabolism*, 2003, 79(4):303-304.
- [24] WILKINSON D J, SMEETON N J, WATT P W. Ammonia metabolism, the brain and fatigue; revisiting the link[J]. *Progress in Neurobiology*, 2010, 91(3):200-219.
- [25] MEYER R A, TERJUNG R L. Differences in ammonia and adenylate metabolism in contracting fast and slow muscle[J]. *The American Journal of Physiology: Cell Physiology*, 1979, 237(3):C111-C118.
- [26] HEALD D E. Influence of ammonium ions on mechanical and electrophysiological responses of skeletal muscle [J]. *American Journal of Physiology*, 1975, 229(5):1174-1179.
- [27] GREGO F, VALLIER J M, COLLARDEAU M, et al. Influence of exercise duration and hydration status on cognitive function during prolonged cycling exercise [J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2004, 26(1):27-33.
- [28] MILLS P C, MARLIN D J, SCOTT C M, et al. Metabolic effects of nitric oxide synthase inhibition during exercise in the horse. [J]. *Research in Veterinary Science*, 1999, 66(2):135-138.
- [29] BALON T W, NADLER J L. Evidence that nitric oxide increases glucose transport in skeletal muscle [J]. *Journal of Applied Physiology*, 1997, 82(1):359-363.
- [30] ROBERTS C K, BARNARD R J, SCHECK S H, et al. Exercise-stimulated glucose transport in skeletal muscle is nitric oxide dependent [J]. *The American Journal of Physiology*, 1997, 273:E220-E225.
- [31] 张靓,黄叔怀.不同运动负荷对大鼠 cNOS 和 iNOS 活性的影响及其机理探讨[J].中国运动医学杂志,2002,21(1):23-26.
- [32] SHAN L L, WANG B, GAO G Z, et al. *L*-arginine supplementation improves antioxidant defenses through *L*-arginine/nitric oxide pathways in exercised rats [J]. *Journal of Applied Physiology*, 2013, 115(8):1146-1155.
- [33] 高运苓,吴信,周锡红,等.精氨酸和精氨酸生素对断奶仔猪氧化应激的影响[J].农业现代化研究,2010,31(4):484-487.
- [34] DE LA FUENTE M. Murine models of premature ageing for the study of diet-induced immune changes; improvement of leucocyte functions in two strains of old prematurely ageing mice by dietary supplementation with sulphur-containing antioxidants [J]. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 2010, 69(4):651-659.
- [35] GEOR R J. The role of nutritional supplements and feeding strategies in equine athletic performance [J]. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, 2006, 3(3):109-119.



## Effects of Supplemented with *L*-Arginine or N-Carbamylglutamate on Athletic Performance and Plasma Biochemical Indexes of *Yili* Horses

ZHANG Shiqi LI Xiaobin ZHANG Wenjie HAN Ming WANG Shichang YANG Kailun\*

(Xinjiang Key Laboratory of Meat&Milk Production Herbivore Nutrition, College of Animal Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** The aim of this study was to investigate the effects of supplemented with *L*-arginine or N-carbamylglutamate on athletic performance and plasma biochemical indexes of *Yili* horses. Fifteen *Yili* horses with similar body weight [ $(388.88 \pm 23.24)$  kg] and aged 2 years old, were divided into 3 groups with 5 horses (3 ♂ + 2 ♀) in each group, and all horses were trained according to the same training intensity every day. Horses in control group were supplemented with *L*-alanine, horses in trial group I were supplemented with *L*-arginine, and horses in trial group II were supplemented with N-carbamylglutamate. The trial was lasted for 4 weeks. The 3 600 m speed race was conducted and blood samples were collected at the 28th day of trial. The results showed as follows: compared with control group, the average speed of the 36 00 m speed race on initial and day 28th of trial in trial groups I and II had no significant difference ( $P > 0.05$ ). Plasma nitric oxide content in trial groups I and II was increased by 27.53% ( $P < 0.01$ ) and 18.10% ( $P < 0.01$ ) compared with control group, respectively, and it in trial group I was increased by 7.99% compared with trial group II ( $P < 0.01$ ). The plasma ammonia content in trial groups I and II was decreased by 25.44% ( $P < 0.01$ ) and 14.04% ( $P < 0.01$ ) compared with control group, respectively, and it in trial group I was decreased by 13.27% compared with trial group II ( $P < 0.01$ ). There was no significant difference in plasma 5-hydroxy tryptamine, glucose and pyruvic acid contents among groups ( $P > 0.05$ ). Compared with control group, plasma lactate content in trial group I was significantly decreased ( $P < 0.01$ ), but there was no significant difference in trial group II ( $P > 0.05$ ). Compared with control group, plasma catalase activity in trial groups I and II was increased by 24.00% ( $P < 0.01$ ) and 21.33% ( $P < 0.01$ ), respectively, and plasma hydroxyl radical resistance in trial in groups I and II was increased by 5.48% ( $P < 0.05$ ) and 8.47% ( $P < 0.05$ ), respectively. Therefore, supplemented with *L*-arginine or N-carbamylglutamate can both increase plasma nitric oxide content and antioxidant capacity, and decrease plasma ammonia content, and supplemented with *L*-arginine can also decrease the plasma lactic acid content, but both of them have no significant effect on the average speed of 3 600 m speed race of *Yili* horses. *L*-arginine and NCG can be used as nutritional regulators to relieve exercise fatigue or promote fatigue recovery after exercise. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(7):3188-3196]

**Key words:** *Yili* horses; *L*-arginine; N-carbamylglutamate; athletic performance; antioxidant capacity