



# 补饲动物双歧杆菌对伊犁马运动性能及心率变异性的影响

王永发<sup>1</sup>, 哈里马西·阿合力汗<sup>1</sup>, 姚新奎<sup>1,2</sup>, 孟军<sup>1,2</sup>,  
曾亚琦<sup>1,2</sup>, 袁鑫鑫<sup>1</sup>, 王彤亮<sup>1</sup>, 王建文<sup>1,2</sup>

(1. 新疆农业大学 动物科学学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆马繁育与运动生理重点实验室, 乌鲁木齐 830052)

**摘要** 旨在研究饲料中添加动物双歧杆菌(*Bifidobacterium*)对伊犁马运动成绩与心率变异性及赛后恢复的影响。选取2~3岁伊犁马骟马19匹,随机分为4组,依据其饲料添加量依次添加0%、0.025%、0.05%、0.1%的动物双歧杆菌( $1 \times 10^{11}$  CFU/g),试验第50天测定马匹比赛成绩及比赛各阶段心率变异性(HRV)数据,分析饲料添加双歧杆菌对伊犁马运动成绩及心率变异性的影响。结果表明:试验第50天,试验组马匹比赛用时均极显著少于对照组( $P < 0.01$ )。正式期第50天,各组时域指标:对照组赛前Mean RR指标极显著高于赛后即刻与赛后1 h( $P < 0.01$ ),0.05%、0.1%组赛前与赛后1 h各组Mean RR指标均极显著高于赛后即刻( $P < 0.01$ );各组赛后即刻Mean HR均极显著高于赛前与赛后1 h( $P < 0.01$ )。频域指标:0.1%组马匹赛后1 h其LF指标与赛前、赛后即刻相比显著降低( $P < 0.05$ ),赛前、赛后1 h马匹HF指标显著高于赛后即刻( $P < 0.05$ );0.1%组赛前LF指标显著高于对照组( $P < 0.05$ )。非线性指标:0.05%组、0.1%组赛后1 h全部R-R间距的标准差(X)(SD2)均显著高于对照组( $P < 0.05$ ),各双歧杆菌添加组赛后即刻SD2均极显著高于对照组( $P < 0.01$ )。综上所述,饲料中添加动物双歧杆菌可提高伊犁马运动成绩,改善赛后心率变异性,提高赛后恢复速度,缓解赛后应激,对伊犁马运动性能及机体健康有一定的积极影响。

**关键词** 伊犁马;动物双歧杆菌;心率变异性;运动性能

速度型马运动训练及比赛中,除考察马匹运动性能的表现外,往往还要注意其运动后恢复缓慢等问题。消除赛后心理疲劳可以采用多种方法,如中断或修改训练、心理恢复训练、确保充足的睡眠和营养。其中,科学配方的膳食补充剂可以有效地影响个人的情绪和认知状态,例如,在益生菌补充剂中,研究发现营养益生菌可以改善个人的情绪健康,包括焦虑、抑郁和在压力下的表现<sup>[1-3]</sup>,在运动员群体中,益生菌补充剂也被证明能有效地改善他们的情绪,减轻压力,从而改善他们的运动成绩<sup>[4-6]</sup>。心率变异性(heart rate variability, HRV)是一种无创评估自主神经系统(ANS)交感和迷走神经对心脏节律调控功能的指标<sup>[7-8]</sup>,可有效反映马匹运动后恢复情况,在日常运动训练的基础上,为马匹膳食补充营养添加剂,对于赛马运动性能的提高、运动恢复及赛后应激缓解具有一定的研究意义。

益生菌被誉为“活的微生物”,部分于运动领域的文献表明,对于运动员有积极作用的益生菌主要有植物乳杆菌、双歧杆菌等<sup>[9]</sup>。研究表明,动物双歧杆菌可通过上调机体有益肠道微生物区系,抑制有害肠道微生物区系,调节相关代谢途径,促进女子跆拳道运动员运动性心理疲劳的清除<sup>[10]</sup>。双歧杆菌作为已被证实对于宿主具有积极作用的益生菌,已被广泛应用于膳食补充剂<sup>[11-13]</sup>。此外,于小鼠模型上进行的益生菌补饲试验证明,益生菌补充剂(双歧杆菌、植物乳杆菌、唾液乳杆菌)对于小鼠的肌肉性能(握力)及耐力运动表现(力竭奔跑时间)具有良好的作用效果<sup>[14-15]</sup>。剧烈运动期间,机体心理和身体需求会引发应激反应,激活交感神经-肾上腺髓质和下丘脑-垂体-肾上腺(HPA)轴,导致压力和分解代谢激素、炎症细胞因子和微生物分子的释放<sup>[16]</sup>。现有研究表明<sup>[17]</sup>,胃肠道和中枢神经系

收稿日期:2023-11-13 修回日期:2024-01-13

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(2021D01B49);自治区创新环境(人才、基地)建设专项(PT2311);自治区重大科技专项(2022A02013-1);中央引导地方科技发展专项资金(ZYD2023C02)。

第一作者:王永发,男,硕士研究生,研究方向为马业科学。E-mail:1294005142@qq.com

通信作者:王建文,副教授,硕士生导师,研究方向为马业科学。E-mail:275139618@qq.com

统之间存在广泛的双向通信网络,称为“肠—脑轴”。益生菌被认为是安全的且耐受良好的膳食补充剂,使用益生菌调节肠道菌群正逐渐成为神经性并发症的一种治疗选择<sup>[18-19]</sup>,HRV 可有效反映机体运动期间的神经活动指数<sup>[20]</sup>,可有效反映动物运动过程中的神经活动变化,进而反映运动恢复状况。膳食补充双歧杆菌被认为是一种改善运动员生理适应、氧化应激、炎症和能量平衡的营养策略,益生菌与运动训练相结合是提高运动员优秀运动表现的一种潜在策略<sup>[21]</sup>。尽管部分研究表明膳食补充双歧杆菌可间接提高动物机体的运动性能及运动损伤恢复,但于运动马研究中却少见有报道。因此,本研究通过于伊犁马膳食中补充益生菌添加剂,监测伊犁马 1 km 测试赛赛前、赛后即刻、赛后 1 h 心率变异性,探究动物双歧杆菌作为饲料添加剂对速度型伊犁马运动表现及运动后恢复的影响,为动物双歧杆菌作为抗生素替代品应用于速度型伊犁马饲料的可行性提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

Polar Grit X 心率表、心率带、耦合剂、动物双歧杆菌( $1 \times 10^{11}$  CFU/g)购自内蒙古和美科盛生物技术有限公司,于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存。

### 1.2 试验设计

试验随机选取健康、体况相近的 2~3 岁伊犁马骟马 19 匹,随机分为 4 组,对照组 4 匹重复,其余试验组每组 5 匹重复。预饲期 7 d,正式期 50 d,所有马匹饲料组成及营养水平一致。对照组饲喂基础饲料,其余试验 1、2、3 组每日晨饲时,在饲喂基础饲料的基础上添加 0.025%、0.05%、0.1% 的动物双歧杆菌,所有马匹每日进行相同强度训练。试验所用基础饲料及营养水平见表 1。正式期第 50 天组织 1 km 速度测试赛,计时马匹测试赛成绩,为试验马匹佩戴 Polar Grit X 心率表,使用 Kubios HRV 软件截取所有马匹赛前、赛后即刻、赛后 1 h 的 HRV 数据,主要数据为相邻 R-R 间期的平均值(Mean of RR intervals, Mean RR)、平均心率(Mean heart rate, Mean HR)、R-R 间距的标准差(The standard deviation of RR intervals, SDNN)、R-R 间隔均值标准差(Root mean square of successive differences, RMSSD)、极低频功率(Very low frequency,

VLF)、低频功率(Low frequency, LF)、高频功率(High frequency, HF)、全部瞬时 R-R 间隔标准差(Standard deviation of the instantaneous beat-to-beat variability, SD1)、长时 R-R 间隔标准差(Standard deviation of the continuous long-term variability, SD2),分析整理所得数据。

表 1 基础饲料组成及营养水平

Table 1 Composition and nutritional level of basic diet

原料 Ingredients	含量/% Content
玉米 Corn	46.00
大麦 Barley	8.00
小麦麸 Wheat bran	8.00
菜籽粕 Rapeseed meal	28.00
预混料 Premix	10.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels	
干物质 DM	89.15
消化能 DE/(MJ/kg)	12.95
粗蛋白质 CP	17.23
中性洗涤纤维 NDF	23.27
酸性洗涤纤维 ADF	8.21
钙 Ca	0.78
磷 P	0.36

注:预混料为每千克精料补充料提供。

Note: The premix provided the following per kg of the basal diets: VA 120 000 IU, VD<sub>3</sub> 25 000 IU, VE 2 500 mg, Cu 250 mg, Fe 1 200 mg, Zn 1 200 mg, Mn 1 100 mg, I 8 mg, Se 6 mg, Co 4 mg.

### 1.3 统计分析

使用 Excel 2019 对所得 HRV 数据进行整理,组间各时刻(赛前、赛后即刻、赛后 1 h)HRV 数据利用 SPSS 26.0 中的单因素方差分析(one-way ANOVA, LSD)处理,采用 Duncan 氏多重比较分析,组内各时刻 HRV 数据采用 SPSS 26.0 中的配对 *t* 检验处理。最终试验数据以“平均值±标准差”表示, $P < 0.01$  表示差异极显著, $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料添加不同梯度动物双歧杆菌对伊犁马 1 km 测试赛成绩的影响

表 2 为饲料添加不同梯度动物双歧杆菌前后对伊犁马 1 km 测试赛成绩的影响。由表 2 可知,添加动物双歧杆菌组比赛用时均极显著低于对照组( $P < 0.01$ ),且随着添加量的增加而呈现出用时下降的趋势。

表 2 各组伊犁马间 1 km 竞赛成绩的差异

Table 2 Differences in 1 km race performance between groups of Yili horses

分组 Group	对照组 Control	0.025%组 0.025% group	0.05%组 0.05% group	0.1%组 0.1% group
比赛用时/s Time	100.12±1.18 A	89.77±5.76 B	86.33±1.46 B	84.39±3.95 B

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

Note: Different uppercase superscript letters within the same rows indicate extremely significant differences ( $P < 0.01$ ). Different lower-case superscript letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). The same superscript letters or the absence of letters indicate no significant differences ( $P > 0.05$ ). The same below.

## 2.2 饲料添加不同梯度动物双歧杆菌对伊犁马 1 km 测试赛时域指标的影响

表 3 为试验第 50 天饲料添加不同梯度动物双歧杆菌对伊犁马 1 km 测试赛时域指标的影响。

各组组内比较结果显示,对照组赛前 Mean RR 指标极显著高于赛后即刻与赛后 1 h ( $P < 0.01$ ),赛后 1 h 与赛后即刻差异显著但无极显著差异( $0.01 < P < 0.05$ );0.025%组 Mean RR 指标赛前、赛后即刻、赛后 1 h 两两比较均差异显著( $P < 0.05$ );0.05%组、0.1%组赛前与赛后 1 h 各组 Mean RR 指标均极显著高于赛后即刻( $P <$

0.01);各组赛后即刻 Mean HR 均极显著高于赛前与赛后 1 h ( $P < 0.01$ ),赛后 1 h 对照组与 0.025%组 Mean HR 指标差异显著( $P < 0.05$ ),0.05%、0.1%组 Mean HR 指标赛前与赛后 1 h 差异不显著( $P > 0.05$ )。

各组组间比较结果显示,赛后 1 h 0.1%组 Mean RR 显著高于对照组 ( $P < 0.05$ );各组赛前时域指标均无显著差异 ( $P > 0.05$ ),对照组与 0.025%组赛后即刻 Mean HR 均显著高于 0.1%组 ( $P < 0.05$ );赛后 1 h 添加动物双歧杆菌组 Mean HR 指标均显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。

表 3 各组伊犁马 1 km 测试赛时域指标数据

Table 3 Time domain index data for each group in 1 km test race of Yili horses

分组 Group	时间 Time	指标 Index			
		Mean RR/ms	Mean HR/ms	SDNN/ms	RMSSD/ms
对照组 Control group	赛前 Pre-race	1 362.25±281.27 Y	45.52±8.69 X	68.72±39.16	88.08±63.46 y
	赛后即刻 Immediately after the race	459.00±103.09 Xx	130.74±5.02 Ya	50.88±23.62	93.94±45.93 y
	赛后 1 h 1 hour after the race	913.35±302.91 Xyb	66.17±5.16 Xa	42.96±23.03	57.34±26.02 x
0.025%组 0.025% group	赛前 Pre-race	1 552.80±151.99 Z	38.80±3.70 X	55.96±26.35	61.82±38.46
	赛后即刻 Immediately after the race	660.60±441.48 X	130.40±7.09 Ya	66.14±35.53	95.30±53.67
	赛后 1 h 1 hour after the race	1 139.80±180.49 Yab	53.80±7.40 Xb	56.66±55.33	47.36±38.21
0.05%组 0.05% group	赛前 Pre-race	1 266.00±235.27 X	49.20±11.03 X	90.64±23.08	92.32±51.88
	赛后即刻 Immediately after the race	528.80±78.46 Y	117.20±12.79 Yab	82.00±30.33	101.26±39.36
	赛后 1 h 1 hour after the race	1 293.20±392.86 Xab	49.20±12.21 Xb	62.90±30.76	72.12±49.47
0.1%组 0.1% group	赛前 Pre-race	1 250.80±220.91 X	49.20±8.50 X	84.28±6.74 x	95.02±22.62
	赛后即刻 Immediately after the race	569.00±139.71 Y	109.40±22.27 Yb	70.16±13.94 y	88.16±16.03
	赛后 1 h 1 hour after the race	1 335.60±199.39 Xa	46.00±7.18 Xb	65.54±12.23 y	81.00±28.20

注:各组之间同时刻比较采用 A、B、C、a、b、c 表示,各组组内不同时刻比较采用 X、Y、Z、x、y、z 表示。下表同。

Note: Comparisons between groups at the same time point are marked with A, B, C, a, b, c, while comparisons within the same group at different time points are marked with X, Y, Z, x, y, z. The same below.

### 2.3 饲粮添加不同梯度动物双歧杆菌前后对伊犁马 1 km 测试赛频域指标的影响

表 4 为试验第 50 天饲粮添加不同梯度动物双歧杆菌对伊犁马 1 km 测试赛时域指标的影响。

各组组内比较结果显示,0.1%组马匹赛后 1 h 其 LF 指标与赛前、赛后即刻相比显著降低

( $P < 0.05$ ),赛前、赛后 1 h 马匹 HF 指标显著高于赛后即刻( $P < 0.05$ )。

各组组间比较结果显示,0.1%组赛前 LF 指标显著高于对照组( $P < 0.05$ ),0.05%组与 0.1%组赛后即刻 LF 指标均极显著高于对照组与 0.025%组( $P < 0.01$ )。

表 4 各组伊犁马 1 km 测试赛频域指标数据

Table 4 Frequency domain index data for each group in 1 km test race of Yili horses

分组 Group	时间 Time	指标 Index		
		VLF/ms <sup>2</sup>	LF/ms <sup>2</sup>	HF/ms <sup>2</sup>
对照组 Control group	赛前 Pre-race	165.96±71.56	331.65±55.38 b	136.23±48.58
	赛后即刻 Immediately after the race	156.67±111.75	352.28±42.37 B	183.60±75.50
	赛后 1 h 1 hour after the race	128.89±60.92	330.84±5.77	191.79±98.62
0.025%组 0.025% group	赛前 Pre-race	211.00±98.77	531.60±214.94 a	223.20±54.79
	赛后即刻 Immediately after the race	195.80±87.38	288.40±29.28 B	223.80±76.36
	赛后 1 h 1 hour after the race	174.60±86.71	434.60±147.73	177.20±99.32
0.05%组 0.05% group	赛前 Pre-race	255.80±113.90	555.00±163.30 a	214.40±82.65
	赛后即刻 Immediately after the race	238.60±97.57	571.40±159.91 A	190.00±28.32
	赛后 1 h 1 hour after the race	180.80±92.37	503.20±222.09	161.40±103.44
0.1%组 0.1% group	赛前 Pre-race	154.00±15.80	634.20±182.62 xa	242.40±137.55 x
	赛后即刻 Immediately after the race	221.80±109.55	501.40±150.52 Ax	180.00±23.62 y
	赛后 1 h 1 hour after the race	194.60±60.42	415.20±56.07 y	246.00±42.67 x

### 2.4 饲粮添加不同梯度动物双歧杆菌前后对伊犁马 1 km 测试赛非线性指标的影响

表 5 结果表明,各组组内、组间 SD1 指标均无显著性差异( $P > 0.05$ ),各组组内 SD2 指标比较均无显著差异( $P > 0.05$ )。

各组组间比较结果显示,赛后即刻各双歧杆菌添加组 SD2 指标均极显著高于对照组( $P < 0.01$ ),且组间无显著差异( $P > 0.05$ ),0.05%与 0.1%组赛后 1 h SD2 指标均显著高于对照组( $P < 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 膳食补充动物双歧杆菌对伊犁马 1 km 测试赛成绩的影响

膳食补充益生菌可以改善动物机体肠道菌

群,进而提高运动表现,并具有抗疲劳的作用<sup>[22]</sup>。本试验中,试验第 50 天,各双歧杆菌添加组 1 km 比赛用时与对照组相比,均极显著低于对照组( $P < 0.01$ ),且随双歧杆菌的添加,各自用时呈降低趋势,0.1%组用时最少,表明补饲动物双歧杆菌可以提高伊犁马运动表现,其原因可能是因为肠道菌群可通过调节肠腔中的短链脂肪酸、支链氨基酸和细菌内毒素水平,改善机体代谢<sup>[23]</sup>,而益生菌能够调节机体肠道菌群组成,促进肠道菌群处于平衡状态<sup>[24]</sup>。亦有研究表明,益生菌可以促进机体对于蛋白质的吸收利用,减少运动所引起的肌肉损伤并促进恢复<sup>[25]</sup>,长期补喂益生菌可以提高小鼠的运动表现及抗疲劳,促进机体健康<sup>[26]</sup>,结果与本研究相似。Ibrahim 等<sup>[27]</sup>研究表明训练与益生菌相结合可以增加运动员的肌肉性

表 5 各组伊犁马 1 km 测试赛非线性指标数据

Table 5 Non-linear metrics data for each group in 1 km test race of Yili horses

分组 Group	时间 Time	指标 Index	
		SD1	SD2
对照组 Control group	赛前 Pre-race	69.95±43.91	80.00±34.81
	赛后即刻 Immediately after the race	62.65±30.61	64.48±18.18 B
	赛后 1 h 1 h after the match	71.78±42.95	55.78±29.45 a
0.025%组 0.025% group	赛前 Pre-race	64.74±15.52	96.84±8.88
	赛后即刻 Immediately after the race	67.74±20.86	99.70±12.26 A
	赛后 1 h 1 hour after the race	41.90±24.35	73.12±22.01 ab
0.05%组 0.05% group	赛前 Pre-race	63.96±29.85	98.82±11.41
	赛后即刻 Immediately after the race	71.80±26.48	103.86±14.80 A
	赛后 1 h 1 hour after the race	75.58±41.08	98.40±10.03 b
0.1%组 0.1% group	赛前 Pre-race	62.76±17.20	91.78±17.90
	赛后即刻 Immediately after the race	64.48±26.91	97.52±9.92 A
	赛后 1 h 1 hour after the race	61.60±12.46	91.46±8.02 b

能,这可能是本试验中添加动物双歧杆菌组马匹运动表现高于对照组的原因。

### 3.2 膳食补充双歧杆菌对伊犁马 1 km 测试赛时域指标的影响

心率变异性相关指标可有效评估交感神经和副交感神经系统机能状态和活性,是判断运动员运动训练后疲劳情况的关键指标<sup>[28]</sup>,可以精确反映机体对于运动训练的适应性。同时,益生菌会直接或间接影响生物大脑信号的神经活动分子<sup>[29]</sup>,且有研究表明<sup>[30]</sup>,益生菌可通过调节与炎症、组蛋白去乙酰化以及小胶质细胞活化和成熟相关的信号通路来调节不同的神经化学通路。此外,益生菌还可以通过调节肠道微生物群,进而对神经信号传导和认知活动产生有益影响。Kong 等<sup>[31]</sup>表明益生菌酸奶可通过重塑肠道菌群,显著降低高血压大鼠模型的血压及心率,这为本试验中马匹 HRV 指标的变化提供了一定的依据。

HRV 指标中一般以 SDNN、RMSSD、HF 来反应自主神经、副交感神经系统状态与活性<sup>[28-32]</sup>。本试验中,各组组内 SDNN、RMSSD 指标赛前、赛后即刻、赛后 1 h 比较结果均无显著差异( $P > 0.05$ ),证明各组马匹赛前、赛后即刻、赛后 1 h 副交感神经兴奋性基本保持稳定状态,这与 Lozano 等<sup>[33]</sup>的研究结果相似;研究表明,不同训练阶段马匹的 Mean HR 升高、Mean RR 则会下降,其原因主要是由于交感神经兴奋性增强、副交感神经兴奋性降低<sup>[34]</sup>,对照组与 0.025%组赛后 1 h 其交感神经兴奋性要高于赛前,副交感神经兴奋性

要低于赛前,而 0.05%组与 0.1%组则与其相反,0.1%组相比于对照组与 0.025%组其神经元稳定性更高,其原因可能是因为双歧杆菌的添加与运动训练相结合,协同增加了马匹运动表现,改善了马匹 1 km 测试赛适应性,马匹赛后恢复所需时间减少,马匹赛后应激降低。

### 3.3 膳食补充双歧杆菌对伊犁马 1 km 测试赛频域指标的影响

频域指标中 LF、VLF 可有效反应交感神经的调节功能,HF 可反应副交感神经的调节功能<sup>[34-35]</sup>,本研究中,0.1%组赛后 1 h LF 指标显著低于赛前( $P < 0.05$ ),证明其赛后 1 h 交感神经兴奋性降低,副交感神经兴奋性有一定提高,其余各组赛后 1 h LF 指标虽低于赛前,但差异不显著( $P > 0.05$ ),表明 0.1%组赛后应激恢复速度要优于其他组,其原因可能为动物双歧杆菌对伊犁马神经元兴奋性的双向调节作用所致,从而减少伊犁马赛后应激反应。于家禽上的研究表明,益生菌能够改善家禽在热应激下的生理机能,并缓解应激损伤,有助于消除应激反应对家禽的一些负面影响<sup>[36-38]</sup>,这与本研究结果相似。试验组赛前 LF 指标均高于对照组,且 0.1%组显著高于对照组( $P < 0.05$ ),证明添加双歧杆菌组赛前交感神经兴奋性要高于对照组,伊犁马赛前兴奋性提高,Kim 等<sup>[39]</sup>通过对无菌雄性小鼠施用益生菌(鼠李糖乳杆菌和动物双歧杆菌)后发现,益生菌可影响“肠-脑轴”,且于海马神经元中发现了益生菌对神经元兴奋性的调节作用。对比前人研究结果,

本研究中添加动物双歧杆菌组伊犁马赛前兴奋性高于对照组,且0.1%组赛后1h交感神经兴奋性显著低于赛前( $P < 0.05$ ),神经元兴奋性显著降低,其原因可能为动物双歧杆菌通过“肠-脑轴”对伊犁马赛前、赛后神经元兴奋性双向调节的结果。

### 3.4 膳食补充双歧杆菌对伊犁马1 km测试赛非线性指标的影响

非线性指标SD1、SD2可用于评估自主神经系统状态,反映交感-迷走神经均衡性<sup>[40-41]</sup>,各组内、组间SD1指标均无显著性差异( $P > 0.05$ ),但赛后1h试验0.05%、0.1%组SD2指标均显著高于对照组( $P < 0.05$ ),赛后即刻各试验组SD2指标均极显著高于对照组( $P < 0.01$ ),各试验组之间无显著差异( $P > 0.05$ ),且与对照组不同的是,各试验组于赛前、赛后即刻、赛后1h3个时间点其SD1、SD2变化趋势几乎均为下降-上升趋势,而对照组SD1指标变化趋势为下降-上升趋势,SD2指标则一直呈下降趋势,表明各试验组在赛前、赛后即刻、赛后1h时间段内,其交感-迷走神经均衡性更加稳定,Brun等<sup>[42]</sup>表示益生菌可以调节相关肠道微生物群-脑轴之间的信号传导,其观点与本试验结果相似。

本试验中,于伊犁马饲料中添加不同梯度动物双歧杆菌可以改善伊犁马1 km测试赛的竞速水平,并改善其赛后恢复速度。

## 4 结论

于伊犁马饲料中添加动物双歧杆菌可减少伊犁马1 km测试赛比赛用时,缓解了伊犁马赛后应激反应,提高运动表现,以其日粮添加量的0.1%时效果最好。

### 参考文献 Reference:

[1] LIU R T, WALSH R F L, SHEEHAN A E. Prebiotics and probiotics for depression and anxiety: a systematic review and meta-analysis of controlled clinical trials[J]. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2019, 102: 13-23.

[2] ANSARI F, POURJAFAR H, TABRIZI A, et al. The effects of probiotics and prebiotics on mental disorders: a review on depression, anxiety, Alzheimer, and autism spectrum disorders[J]. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 2020, 21(7): 555-565.

[3] MÖRKL S, BUTLER M I, HOLL A, et al. Probiotics and the microbiota-gut-brain axis: focus on psychiatry[J]. *Current Nutrition Reports*, 2020, 9: 171-182.

[4] SALLEH R M, KUAN G, AZIZ M N A, et al. Effects of

probiotics on anxiety, stress, mood and fitness of badminton players[J]. *Nutrients*, 2021, 13(6): 1783.

[5] CLARK A, MACH N. Exercise-induced stress behavior, gut-microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes[J]. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2016, 13(1): 43.

[6] MARTTINEN M, ALA-JAANKOLA R, LAITILA A, et al. Gut microbiota, probiotics and physical performance in athletes and physically active individuals[J]. *Nutrients*, 2020, 12(10): 2936.

[7] 胡志成, 姚 焰. 心率变异性的历史沿革与研究进展[J]. *实用心电学杂志*, 2023, 32(5): 355-359.

[8] DONG J G. The role of heart rate variability in sports physiology[J]. *Experimental and therapeutic medicine*, 2016, 11(5): 1531-1536.

[9] LEITE G S F, STUDENT A S R M, WEST N P, et al. Probiotics and sports: a new magic bullet? [J]. *Nutrition*, 2019, 60: 152-160.

[10] ZHU J, ZHU Y, SONG G. Effect of probiotic yogurt supplementation (*Bifidobacterium animalis* ssp. lactis BB-12) on gut microbiota of female taekwondo athletes and its relationship with exercise-related psychological fatigue[J]. *Microorganisms*, 2023, 11(6): 1403.

[11] PYNE D B, WEST N P, COX A J, et al. Probiotics supplementation for athletes - Clinical and physiological effects [J]. *European Journal of Sport Science*, 2015, 15(1): 63-72.

[12] AZAD M A K, SARKER M, LI T, et al. Probiotic species in the modulation of gut microbiota: an overview[J]. *Biomed Research International*, 2018(1): 1-8.

[13] KERRY R G, PATRA J K, GOUDA S, et al. Benefaction of probiotics for human health: a review[J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2018, 26(3): 927-939.

[14] LIN W Y, KUO Y W, LIN J H, et al. Probiotic strains isolated from an Olympic Woman's weightlifting gold medalist increase weight loss and exercise performance in a mouse model[J]. *Nutrients*, 2022, 14(6): 1270.

[15] LEE M C, HSU Y J, HO H H, et al. Lactobacillus salivarius subspecies salicinicus SA-03 is a new probiotic capable of enhancing exercise performance and decreasing fatigue [J]. *Microorganisms*, 2020, 8(4): 545.

[16] CLARK A, MACH N. Exercise-induced stress behavior, gut-microbiota-brain axis and diet: a systematic review for athletes [J]. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2016, 13(1): 43.

[17] FOSTER J A, NEUFELD K A M V. Gut - brain axis: how the microbiome influences anxiety and depression[J]. *Trends in Neurosciences*, 2013, 36(5): 305-312.

[18] RACKAYOVÁ V, FLATT E, BRAISSANT O, et al. Probiotics improve the neurometabolic profile of rats with chronic cholestatic liver disease [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 2269.

- [19] LIU L, POVEDA C, JENKINS P E, *et al.* An in vitro approach to studying the microbial community and impact of pre and probiotics under anorexia nervosa related dietary restrictions[J]. *Nutrients*, 2021, 13(12): 4447.
- [20] TANOUE Y, KOMATSU T, NAKASHIMA S, *et al.* The ratio of heart rate to heart rate variability reflects sympathetic activity during incremental cycling exercise[J]. *European Journal of Sport Science*, 2022, 22(11): 1714-1723.
- [21] HUANG W C, HSU Y J, HUANG C C, *et al.* Exercise training combined with Bifidobacterium longum OLP-01 supplementation improves exercise physiological adaption and performance[J]. *Nutrients*, 2020, 12(4): 1145.
- [22] LEE M C, CHEN M J, HUANG H W, *et al.* Probiotic Lactiplantibacillus plantarum Tana isolated from an international weightlifter enhances exercise performance and promotes antifatigue effects in mice[J]. *Nutrients*, 2022, 14(16): 3308.
- [23] 杜靖, 刘丹丹, 刘秀, 等. 肠道菌群在减重手术后的变化及改善代谢的机制[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2023, 30(3): 279-284.
- [24] 徐英微. 益生菌补充剂对体育运动员身体健康的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(11): 227-228.
- [25] RALF JÄGER, SHIELDS K A, LOWERY R P, *et al.* Probiotic *Bacillus coagulans* GBI-30, 6086 reduces exercise-induced muscle damage and increases recovery[J]. *PeerJ*, 2016, 4(7): e2276.
- [26] YI-MING C, LI W, YEN-SHUO C, *et al.* Lactobacillus plantarum TWK10 supplementation improves exercise performance and increases muscle mass in mice[J]. *Nutrients*, 2016, 8(4): 205.
- [27] IBRAHIM N S, MUHAMAD A S, OOI F K, *et al.* The effects of combined probiotic ingestion and circuit training on muscular strength and power and cytokine responses in young males[J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2018, 43(2): 180-186.
- [28] 王润极. 应用心率变异性指标监控运动训练的研究进展[J]. 福建体育科技, 2023, 42(4): 94-98.
- [29] MARTÍNEZ-GUARDADO I, ARBOLEYA S, GRIJOTA F J, *et al.* The therapeutic role of exercise and probiotics in stressful brain conditions[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(7): 3610.
- [30] LEKCHAND DASRIYA V, SAMTIYA M, DHEWA T, *et al.* Etiology and management of Alzheimer's disease; Potential role of gut microbiota modulation with probiotics supplementation[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2022, 46(1): e14043.
- [31] KONG C Y, LI Z M, MAO Y Q, *et al.* Probiotic yogurt blunts the increase of blood pressure in spontaneously hypertensive rats via remodeling of the gut microbiota[J]. *Food & Function*, 2021, 12(20): 9773-9783.
- [32] 刘凌, 曹佩江, 徐岩, 等. 心率变异性各指标在运动适应性评定中的应用[J]. 体育与科学, 2008(6): 60-62.
- [33] LOZANO W M, ARIAS-MUTIS O J, CALVO C J, *et al.* Time and frequency domain analysis of long-term heart rate variability in an experimental model of diet-induced metabolic syndrome[J]. *European Heart Journal*, 2021, 42(Supplement\_1): ehab724. 3227.
- [34] 李雪妍, 孟军, 易海波, 等. 调教训练对伊犁马 1 600 m 测试赛成绩及心率变异性的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2022, 49(6): 2098-2104.
- [35] ZEBISCH A, MAY A, REESE S, *et al.* Effect of different head - neck positions on physical and psychological stress parameters in the ridden horse[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2014, 98(5): 901-907.
- [36] AHMAD R, YU Y H, HSIAO F S H, *et al.* Influence of heat stress on poultry growth performance, intestinal inflammation, and immune function and potential mitigation by probiotics[J]. *Animals*, 2022, 12(17): 2297.
- [37] 解慧林. 复合益生菌对肉鸡肠道微生物组成和应激引起的肠道损伤中的作用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2021.
- [38] 李会洲. 益生菌可有效缓解高温季热应激对鸡的负面影响[J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2018, 38(10): 72-73.
- [39] KIM J, KIM D W, PLETNIKOV M V, *et al.* Homeostatic regulation of neuronal excitability by probiotics in male germ - free mice[J]. *Journal of Neuroscience Research*, 2022, 100(2): 444-460.
- [40] PISKORSKI J, ELLERT J, KRAUZE T, *et al.* Testing heart rate asymmetry in long, nonstationary 24 hour RR-interval time series [J]. *Physiological Measurement*, 2019, 40(10): 105001.
- [41] LOFTUS L, MARKS K, JONES-MCVEY R, *et al.* Monty Roberts' public demonstrations: preliminary report on the heart rate and heart rate variability of horses undergoing training during live audience events[J]. *Animals*, 2016, 6(9): 55.
- [42] BRUN P, AKBARALI H I, CASTAGLIUOLO I. The gut microbiota orchestrates the neuronal-immune system[J]. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 2021, 9: 672685.

## Effects of Supplementary Feeding of *Bifidobacterium* on Exercise Performance and Heart Rate Variability of Yili Horses

WANG Yongfa<sup>1</sup>, Halimaxi Ahelihan<sup>1</sup>, YAO Xinkui<sup>1,2</sup>, MENG Jun<sup>1,2</sup>,  
ZENG Yaqi<sup>1,2</sup>, YUAN Xinxin<sup>1</sup>, WANG Tongliang<sup>1</sup> and WANG Jianwen<sup>1,2</sup>

(1. College of Animal Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Xinjiang key Laboratory of Horse Breeding and Sports Physiology, Urumqi 830052, China)

**Abstract** This study investigates the effects of *Bifidobacterium* on exercise performance, heart rate variability (HRV) and post-race recovery in Yili horses. Nineteen Yili horses, aged 2-3 years, were randomly assigned to four groups and fed diets supplemented with 0%, 0.025%, 0.05% and 0.1% of Bifidobacteria ( $1 \times 10^{11}$  CFU/g). On the 50th day of the experiment, race performance and HRV data were collected to assess effects of the supplementation. The results showed that on the 50th day of the experiment, horses in the supplemented groups completed the race significantly faster than those in the control group ( $P < 0.01$ ). Before the race, the time-domain Mean RR index in the control group was significantly higher than immediately after and 1 hour post-race ( $P < 0.01$ ). In the 0.05% and 0.1% groups, Mean RR before and 1 hour post-race was also significantly higher than immediately after the race ( $P < 0.01$ ). Mean HR in all groups was significantly higher immediately post-race compared to 1 hour pre- and post-race ( $P < 0.01$ ). For frequency domain index, the LF index of the 0.1% group was significantly lower 1 hour after the race compared to pre-race and immediately post-race. Conversely, the HF index was significantly higher before the race and 1 hour after the race than immediately after the race. The pre-race LF index of the 0.1 group was also significantly higher than that of the control group ( $P < 0.05$ ). In terms of non-linear index, the SD2 (standard deviation of all R-R intervals) in the 0.05% and 0.1% groups was significantly higher than that in the control group ( $P < 0.05$ ), with the SD2 of all supplemented groups being significantly higher immediately post-race ( $P < 0.01$ ). In conclusion, dietary *Bifidobacterium* supplementation improves exercise performance, enhances the HRV, accelerates recovery, reduces post-race stress, and has a certain positive effect on overall athletic performance and health of the Yili horses.

**Key words** Yili horses; *Bifidobacterium*; Heart rate variability (HRV); Sports performance

**Received** 2023-11-13

**Returned** 2024-01-13

**Foundation item** Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (No. 2021D01B49); Innovation Environment (Talents, Base) Construction Project of Xinjiang Uygur Autonomous Region (No. PT2311); Major Science and Technology Project of Xinjiang Uygur Autonomous Region (No. 2022A02013-1); the Special Fund Project for Central Government to Guide Local Science and Technology Development (No. ZYYD2023C02).

**First author** WANG Yongfa, male, master student. Research area: equine science. E-mail: 1294005142@qq.com

**Corresponding author** WANG Jianwen, male, associate professor, master supervisor. Research area: equine science. E-mail: 275139618@qq.com

(责任编辑: 潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)