

益生菌补充剂对高水平运动员氧化应激水平的保护机制

宁方堂¹, 马国强^{2*}, 王昱儒³

1. 山东省水上运动管理中心, 日照 276800
2. 上海体育科学研究所(上海市反兴奋剂中心), 上海 200030
3. 中国营养学会运动营养分会, 北京 100015

摘要 氧化应激是细胞衰老、损伤的重要机制, 大量运动可导致人体多系统/器官细胞发生氧化应激损伤。益生菌补充剂具有抗氧化、免疫调节等生物功能。以高水平运动员为研究对象, 通过分析益生菌补充剂对氧化应激、炎症水平及免疫状态的影响, 旨在明确益生菌补充剂对运动相关的氧化应激损伤的保护作用。氧化应激指标包括血清丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、还原型谷胱甘肽(GSH)水平以及血清总抗氧化能力(TAOC); 炎症指标包括血清C-反应蛋白(CRP)、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和白细胞介素-6(IL-6)水平; 免疫指标包括外周血CD4⁺、CD8⁺、CD4⁺CD25⁺ T细胞计数。结果显示, 益生菌补充剂可提高机体SOD、GSH、TAOC和CD4⁺CD25⁺ T细胞计数水平, 降低MDA、TNF- α 水平、CD4⁺和CD8⁺细胞计数水平, 说明益生菌补充剂可改善大量运动所致的氧化应激和炎症状态, 具有免疫调节功能。

关键词 氧化应激; 细胞损伤; 益生菌补充剂; 抗氧化能力; 炎症状态; 免疫调节

适度的体育运动有益于人体健康, 但运动带来的氧化应激损伤却不可忽视。氧化应激是细胞损伤、衰老的重要机制。在大量运动或不适运动的情况下, 人体细胞中的促氧化-抗氧化平衡受到干扰, 导致DNA羟基化, 蛋白质变性, 脂质过氧化和细胞凋亡, 最终导致细胞损伤或死亡^[1]。现阶段的

研究认为, 大运动量、高强度的运动不仅可导致运动系统及循环系统的细胞发生氧化应激损伤, 还可导致运动系统之外组织和器官广泛的细胞损伤, 如中枢神经系统的海马细胞^[2]、肝细胞^[3]、肾小管细胞^[4]、淋巴细胞等^[5]。随着中国社会的发展和全民健身时代的到来, 运动相关的氧化应激损伤影响威

收稿日期: 2024-03-31; 修回日期: 2024-06-21

作者简介: 宁方堂, 主治医师, 研究方向为运动医务监督, 运动相关性疾病、运动损伤的营养补充剂干预, 运动训练监控, 电子信箱: ningfang-tang@126.com; 马国强(通信作者), 研究员, 研究方向为运动能力评定, 训练监控, 高原低氧训练等, 电子信箱: maguoqiang1978@163.com

引用格式: 宁方堂, 马国强, 王昱儒. 益生菌补充剂对高水平运动员氧化应激水平的保护机制[J]. 科技导报, 2024, 42(22): 63-69; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2024.06.00629

胁着运动员和体育爱好群体的健康。

世界卫生组织/联合国粮农组织将益生菌定义为:在摄入适当量时对机体健康产生益处的一类活体微生物^[6]。最近的研究发现,益生菌补充剂除具有调节菌群平衡、促进营养成分吸收之外,还具有抗氧化活性、免疫调节等生物功能^[7]。已有研究证实,益生菌补充剂具有对抗人体氧化应激和炎症损伤的作用^[6],在多种疾病中具有抗氧化功能^[1]。益生菌补充剂能明显改善2型糖尿病患者血液中糖脂代谢、炎症以及氧化应激水平^[8-9],益生菌能抑制过敏性哮喘患者的氧化应激反应,增加抗氧化剂和相关酶的释放和活性^[10]。氧化应激病理过程涉及过氧化损伤、炎症反应及免疫调节。现阶段,关于益生菌补充剂对运动诱导的氧化应激损伤的研究有限,对益生菌的抗氧化能力,尤其是其抗氧化机制尚未完全了解。尚缺乏高质量、系统的临床研究来证实益生菌补充剂对机体氧化应激水平及抗氧化系统的影响。本研究以高水平运动员为例,旨在通过观察益生菌补充剂对大运动量训练后的过氧化水平及抗氧化系统,以及机体炎症和免疫水平的影响,明确益生菌补充剂对运动相关的氧化应激水平的保护机制。

1 研究方法

1.1 受试者与分组

本研究为随机对照临床研究,将2022年6—12月期间于山东省水上运动管理中心训练的现役运动健将或一级运动员作为研究对象。纳入标准:(1)年龄18~29岁;(2)研究期间规律参加日常耐力训练;(3)知情同意,服从分组安排。排除标准:(1)研究期间发生了病毒感染,如呼吸道感染、单纯疱疹、病毒性腹泻等;(2)合并过敏性哮喘、过敏性鼻炎等其他免疫系统过敏性疾病。

受试者按照1:1比例由随机序列生成器软件随机分为对照组和研究组。2组均进行日常体能训练,包括:(1)约120 min力量训练(非稳定状态下力量训练2个动作×3组×8次,负荷强度60%~70%;专项力量训练4个动作×3组×8次,负荷强度

40%~50%;下肢离心力量训练2个动作×3组×6次,负荷强度75%~85%);(2)协调性训练(绳梯20 min);(3)灵敏性训练(灵敏跑×3组×8次);(4)无氧运动能力训练(折返跑×3组×8次);(5)有氧运动能力训练(12 min跑×3组)。日常体能训练总时间约为200 min,每训练6 d休息1 d。2组的研究持续时间均为6个月。研究持续期间,对照组每日口服安慰剂(葡萄糖粉),每次2 g,每日2次,温开水冲服,研究组每日口服益生菌补充剂(富能者运动益生菌,规格:2 g/袋×16袋/盒,北京知富科技有限公司),每次2 g,每日2次,温开水冲服。对照组和研究组受试者对口服补充剂的成分并不知情(单盲)。本研究已经过上海体育科学研究所伦理委员会批准(IRB40376-3)。

1.2 过氧化水平的检测

研究结束后,留取2组受试者的空腹静脉血(采血当日要求空腹8 h以上,采血时间为06:30—08:30),离心(4℃,3500 r/min,15 min)后取上层血清,进行下一步检测。

丙二醛(malondialdehyde, MDA)是细胞膜等生物膜发生脂质过氧化的产物,MDA亦是反映生物膜过氧化程度的标志物,是反映机体氧化应激水平的重要指标。本研究采用硫代巴比妥酸比色法检测外周血丙二醛水平。

超氧化物歧化酶(Superoxide Dismutase, SOD)和还原型谷胱甘肽(reduced glutathione, GSH)是衡量机体抗氧化能力的重要指标。SOD可催化超氧阴离子自由基歧化生成氧和过氧化氢,在机体氧化与抗氧化平衡中起到至关重要的作用。GSH是人体重要的抗氧化剂,在谷胱甘肽转移酶的作用下,与过氧化物及自由基相结合,以对抗氧化剂对蛋白质分子的巯基的破坏。本研究采用黄嘌呤氧化法检测机体血清SOD水平,采用速率比色法检测机体血清GSH水平,采用 Fe^{3+}/Fe^{2+} 还原法检测机体血清的总抗氧化能力(TAOC)^[8]。上述试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,严格按照其操作说明书进行检测。

1.3 炎症水平的检测

取2组受试者血清,采用酶联免疫吸附法检测

血清 C-反应蛋白(CRP)、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和白细胞介素-6(IL-6)水平^[9]。CRP、TNF- α 和 IL-6 是评价机体炎症水平的常用促炎因子指标,可诱发机体的炎症级联反应。

CRP是急性炎症指标,指机体在应激状态下血浆中一些急剧上升的蛋白质(急性蛋白)的总称,与感染、创伤、过度运动引发的细胞损伤、坏死、凋亡有关。TNF- α 是由巨噬细胞和单核细胞产生的促炎细胞因子,是炎症反应和免疫反应程度的标志物。IL-6是由单核巨噬细胞、辅助性 T 淋巴细胞(Th)2、血管内皮细胞等分泌的趋化因子,是炎症反应和免疫反应的标志物。

1.4 免疫水平的检测

采用流式细胞仪和配套的试剂盒检测外周血 T 淋巴细胞亚群水平,指标包括 CD4+(Th 的表面识别分子)、CD8+(细胞毒性 T 淋巴细胞、效应 T 细胞的表面识别分子)、CD4+CD25+ T 细胞(调节性 T 细胞(regulatory T cells, Tregs)的表面识别分子)计数。

1.5 统计学分析

计量资料用均数 \pm 标准差表示,计数资料以率(%)或例数(n)表示。计量资料的组间比较采用独立样本 t 检验和 Levene 方差同质性分析,计数资料(性别)的组间比较采用行 \times 列表 χ^2 检验。本研究数据均采用 SPSS 20.0 统计学软件(SPSS Inc., 2009,

Chicago, IL, USA)进行分析和处理。

2 结果与分析

2.1 一般情况比较

本研究共纳入 60 名受试者,研究持续期间,所有受试者均完成了实验,未发生破盲、出组、失访等事件。2 组受试者在入组时的年龄、性别、体质指数(I_{BM})等一般情况资料无组间差异(表 1),所有受试者在研究期间均未发生不良反应。

表 1 对照组与研究组受试者一般情况资料比较

分组	年龄/岁	性别/(男/女)	$I_{BM}/(\text{kg}\cdot\text{m}^2)$
对照组($n=30$)	22.6 \pm 3.6	18/12	22.23 \pm 2.85
研究组($n=30$)	24.3 \pm 4.1	15/15	22.64 \pm 2.76
统计值	$t=-1.707$	$\chi^2=0.606$	$t=-0.566$
P 值	0.093	0.436	0.574

2.2 氧化应激水平比较

组间比较显示,在实验开展 0.5 a 后,对照组的 MDA 水平显著高于研究组,而对照组的 SOD、GSH 及 TAOC 的水平显著低于研究组,说明对照组的氧化水平高于研究组,而抗氧化水平低于研究组。2 组的 CRP 水平未见显著性差异(表 2),说明 2 组的应激水平可能不存在差异。

表 2 对照组与研究组受试者氧化应激指标的比较

分组	MDA/ $(\text{nmol}\cdot\text{mL}^{-1})$	SOD/ $(\text{U}\cdot\text{mL}^{-1})$	GSH/ $(\text{U}\cdot\text{L}^{-1})$	TAOC/ $(\text{U}\cdot\text{mL}^{-1})$	CRP/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
对照组($n=30$)	7.0 \pm 1.1	80.4 \pm 6.5	123.4 \pm 15.6	12.0 \pm 1.9	8.3 \pm 4.7
研究组($n=30$)	6.4 \pm 0.9	97.6 \pm 8.2	135.0 \pm 13.9	15.3 \pm 2.7	7.6 \pm 2.4
统计值	$t=2.312$	$t=-9.003$	$t=-3.041$	$t=-5.475$	$t=0.727$
P 值	0.024*	<0.001**	0.004**	<0.001**	0.471

注:*为 $P<0.05$,**为 $P<0.01$ 。

2.3 炎症和免疫水平的比较

组间比较显示,在实验开展 0.5 a 后,对照组的 TNF- α 水平、CD4+ 及 CD8+ T 细胞水平显著高于研究组,而 CD4+CD25+ T 细胞水平显著低于研究组,

说明对照组的炎症及免疫水平高于研究组,而免疫调节水平低于对照组。2 组的 IL-6 水平未见组间差异(表 3)。

表3 对照组与研究组炎症及免疫水平指标的比较

分组	TNF- α /(ng·L ⁻¹)	IL-6/(ng·L ⁻¹)	CD4+/%	CD8+/%	CD4+CD25+/%
对照组(n=30)	12.3±1.7	18.4±3.5	74.3±10.0	43.3±7.5	3.3±0.7
研究组(n=30)	9.4±1.6	17.6±2.2	68.2±9.3	35.3±5.5	3.8±1.1
统计值	<i>t</i> =6.804	<i>t</i> =1.060	<i>t</i> =2.447	<i>t</i> =4.594	<i>t</i> =-2.100
<i>P</i> 值	<0.001**	0.294	0.017*	<0.001**	0.041*

注:*为 $P < 0.05$, **为 $P < 0.01$ 。

3 讨论

3.1 益生菌可改善大量运动所致的氧化应激

氧化应激是导致细胞衰老和损伤的重要机制,大量运动可导致人体多系统/器官细胞发生氧化应激损伤。本研究发现,益生菌补充剂可显著改善大量运动所致的氧化应激状态,结果显示,在口服益生菌补充剂0.5 a后,研究组的MDA水平较对照组显著降低,而SOD、GSH及TAOC的水平较对照组显著升高,这说明益生菌补充剂能提高机体的抗氧化能力,保护大量运动所致的过氧化损伤。本研究使用的益生菌补充剂是由乳杆菌、双歧杆菌等组成的7联活菌制剂。动物试验已证实,经口补充双歧杆菌可以抑制高脂饮食诱导的非酒精性脂肪肝大鼠模型的血液和肝脏MDA水平的升高,同时提高了SOD和SOD2的表达^[11]。与本研究类似,宋琪等^[8]的临床研究发现2型糖尿病患者补充益生菌(双歧杆菌4联活菌片)后6个月,患者外周血的氧化应激指标显著改善,研究组MDA较对照组明显下降,SOD以及TAOC较对照组显著提高。在妊娠期糖尿病患者中实施益生菌补充剂治疗,可显著抑制患者氧化应激因子MDA的表达,同时提高SOD、过氧化物酶的水平^[9]。还有研究显示,益生菌补充剂能显著降低哮喘患者外周血MDA水平,同时显著增高机体SOD、GSH水平^[10]。

长期高强度大量运动以及慢性疲劳会导致机体的氧化应激状态,特别是在马拉松、超耐力和铁人三项等长距离项目运动员中,氧化应激已成为影响其健康和运动表现的重要负面因素。大强度运动中,因肌肉疲劳、损伤、热应激和缺血-再灌注等现象,导致机体内自由基和活性氧(ROS)增加,当

后者超过机体内源性抗氧化系统的防御能力时(氧化-抗氧化水平失衡),就可引发细胞内蛋白质、脂质和DNA的氧化应激损伤,导致蛋白质变性,脂质过氧化,DNA羟化,线粒体功能障碍和细胞凋亡^[11,12]等病理过程。

近年来,越来越多的研究发现,氧化应激与肠道微生物群的改变有关^[1]。分子生物学层面已证实,肠道益生菌在多种疾病中可通过抗氧化系统调节信号通路发挥其抗氧化作用^[7]。人体研究表明,运动员在剧烈运动4周期间服用的副乳杆菌和鼠李糖乳杆菌可发挥较强的抗氧化活性,提高了受试者的血浆抗氧化水平,推测益生菌产生抗氧化作用的机制与肠道微生物合成维生素B1、B5和B6等抗氧化物质有关^[13]。此外,研究发现益生菌可能具有直接抗氧化(不依赖肠道生物合成)的作用。某些乳杆菌自身具备抗氧化酶系统,可表达Mn-SOD和GSH^[14],这可能是本研究中益生菌补充剂显著提高机体SOD、GSH水平的潜在原因之一。瑞士乳杆菌可产生影响DNA复制、修复和甲基化效率的叶酸,后者是具有抗氧化能力的代谢产物^[15]。植物乳杆菌可通过介导核因子NF-E2相关因子信号通路的抗氧化酶表达来增强抗氧化保护作用^[16]。瑞士乳杆菌、植物乳杆菌均是本研究使用的7联活菌制剂(富能者运动益生菌,规格:2 g/袋×16袋/盒,北京知富科技有限公司)的成分。上述机制可能是本研究中益生菌补充剂显著提高机体TAOC水平的潜在原因之一。

3.2 益生菌可改善运动群体的炎症与免疫水平

本研究发现,益生菌补充剂可显著改善大量运动所致的炎症水平,结果显示,在口服益生菌补充剂0.5 a后,研究组的TNF- α 水平显著低于对照组。

梁芳娟等^[9]发现在妊娠期糖尿病患者中,益生菌补充剂可显著抑制患者的炎症因子TNF- α 的表达, 郦银芳等^[10]也发现益生菌补充剂能显著降低哮喘患者外周血IL-4、MDA水平。运动导致机体炎症状态的潜在机制有2点:(1) 剧烈运动时机体血液重新分配,内脏区域血液循环减少,导致细胞内的缺血-再灌注损伤,最终诱导氧化应激,其中,消化道的缺血-再灌注损伤和继发的氧化应激损伤可大大增加消化道的渗透性,致使消化道菌群的脂多糖进入血液循环,诱发“内毒素血症”,产生全身炎症反应^[17];(2) 大量运动可导致骨骼肌组织发生微损伤,引起局部炎症反应,使血清中IL-6等炎症因子的水平升高^[18]。与本研究结果类似,Huang等^[19]的研究显示,经3周植物乳杆菌补充的铁人三项运动员赛后即刻和3小时内,血清促炎细胞因子TNF- α 、IL-6和IL-8的水平显著降低。Lamprecht等^[20]的随机对照研究和Mazani等^[21]的临床研究也发现,联合益生菌补充可显著降低运动员血清TNF- α 水平。因此推测,益生菌补充剂改善大量运动所致机体炎症状态的潜在原因可能有2点:(1) 益生菌补充剂可能通过对肠道正常菌群的维护,增强肠道的局部免疫能力和减少内毒素入血,来改善大量运动所致的全身炎症反应;(2) 氧化应激是炎症反应的上游环节,益生菌补充剂还可能通过改善机体的氧化应激状态和降低MDA水平来抑制机体的炎症水平。

本研究发现,益生菌补充剂可调节运动群体的免疫状态,结果显示,在口服益生菌补充剂0.5 a后,研究组受试者的CD4+及CD8+ T细胞水平低于对照组,而CD4+CD25+ T细胞水平显著高于对照组,说明益生菌补充剂可提高调节性T细胞(regulatory T cells, Tregs)数量,降低辅助T细胞(helper T cell, Th)及效应T细胞数量。Tregs属于CD4+ T细胞成员,本身具有抑制免疫系统过度激活的作用,在抗自身免疫反应、抗过敏反应的过程中发挥重要作用。Tregs的负性免疫调节作用包括:(1) 抑制TNF- α 的表达来抑制CD8+ T淋巴细胞的增殖与激活;(2) 直接抑制Th1、Th2细胞;(3) 抑制过敏原特异性IgE的产生;(4) 抑制肥大细胞、嗜碱性

细胞和嗜酸性细胞介导的超敏反应;(5) 抑制效应T细胞向靶组织的迁移^[6]。已有研究证实双歧杆菌等益生菌可发酵膳食纤维生成短链脂肪酸,后者具有显著促进Tregs分化的作用^[22]。Tregs水平的增高与TNF- α 、CD4+及CD8+ T细胞水平的降低有直接关系。研究发现,马拉松比赛前30 d补充益生菌可减少鼻黏膜中性粒细胞浸润,降低上呼吸道中促炎因子TNF- α 等水平,最终改善气道的炎症状态和免疫水平^[23]。推测益生菌补充剂可能通过促进肠道中短链脂肪酸来提高机体Tregs水平,继而在运动群体中发挥对免疫系统和炎症反应的负性调节,降低Th及效应T细胞数量,降低TNF- α 水平。

本研究并没有观察到CRP、IL-6在2组之间的差异性结果。有类似研究也发现,益生菌补充并不能减轻运动后的某些炎症指标或炎症反应^[24],如唾液抗菌蛋白反应^[25]、细胞外热休克蛋白72等^[26]。推测益生菌对炎症状态的抑制作用可能是通过免疫调节作用而间接实现的,鉴于益生菌补充剂对炎症指标的矛盾性结果,有必要进一步地深入研究。

3.3 局限性

本研究尚存在待完善之处。首先,本研究的样本量有限,这可能是导致CRP、IL-6未出现组间差异的原因之一。第二,本研究未涉及相关基因转录、翻译水平方面的指标,益生菌补充剂对SOD、GSH基因转录、翻译水平的影响尚未可知。第三,本研究并未设立益生菌补充剂的亚组。未来仍需要大量的研究进一步探讨益生菌补充剂对运动人群氧化应激、炎症反应、免疫水平的影响,同时应根据菌种类型、比例、剂量及摄入时间设立不同的亚组,以确定益生菌补充剂的最佳疗效模式。

4 结论

益生菌补充剂可显著提高受试者的抗氧化能力,提高机体SOD、GSH及TAOC的水平,改善大量运动所致的氧化应激状态,降低机体MDA水平,还能发挥免疫调节功能,改善受试者的炎症状态。益生菌补充剂可能通过提高机体Tregs水平继而发挥对TNF- α 、Th细胞及效应T细胞的负性调节作用。

益生菌补充剂对运动群体具有保护作用,可对抗大量运动引起的氧化应激、炎症状态所致的细胞衰老和损伤,调节免疫系统功能,值得推广应用。

参考文献(References)

- [1] Wang Y, Wu Y P, Wang Y Y, et al. Antioxidant properties of probiotic bacteria[J]. *Nutrients*, 2017, 9(5): 521.
- [2] Ding Y, Xie L, Chang C Q, et al. Activation of γ -aminobutyric acid (A) receptor protects hippocampus from intense exercise-induced synapses damage and apoptosis in rats[J]. *Chinese Medical Journal*, 2015, 128(17): 2330-2339.
- [3] Zhou X, Yi L, Lang H D, et al. Dihydromyricetin-encapsulated liposomes inhibit exhaustive exercise-induced liver inflammation by orchestrating M1/M2 macrophage polarization[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2022, 13: 887263.
- [4] Mizokami T, Shimada M, Suzuki K. Neutrophil depletion attenuates acute renal injury after exhaustive exercise in mice[J]. *Experimental Physiology*, 2024, 109(4): 588-599.
- [5] de Lima F R, Marin D P, Ferreira L T, et al. Effect of resistance training with total and partial blood flow restriction on biomarkers of oxidative stress and apoptosis in untrained men[J]. *Frontiers in Physiology*, 2021, 12: 720773.
- [6] 陈俊飞, 陈健豪, 曹佩江. 益生菌补充剂与人体免疫调节功能[J]. *科技导报*, 2023, 41(23): 14-19.
- [7] Tang C, Lu Z X. Health promoting activities of probiotics [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2019, 43(8): e12944.
- [8] 宋琪, 夏木西卡玛尔·阿不都呼甫尔, 杨丽斌. 还原型谷胱甘肽联合益生菌辅助治疗对2型糖尿病患者糖脂代谢、炎症以及氧化应激指标的影响[J]. *国际检验医学杂志*, 2024, 45(5): 539-543, 548.
- [9] 梁芳娟, 焦蕾蕾, 刘梦云. 益生菌补充剂对妊娠糖尿病患者炎症和氧化应激生物标志物的影响[J]. *海南医学*, 2022, 33(6): 754-757.
- [10] 郦银芳, 孔霞, 吴红梅. 益生菌对过敏性哮喘患儿炎症因子及氧化应激标志物的影响[J]. *儿科药学杂志*, 2023, 29(10): 45-48.
- [11] 李欣益, 刘春妍, 黄建, 等. 益生菌 V9 对高脂饮食诱导的 NAFLD 大鼠肝功能、氧化应激及脂代谢的影响及作用机制[J]. *中国免疫学杂志*, 2019, 35(23): 2822-2826.
- [12] Schieber M, Chandel N S. ROS function in redox signaling and oxidative stress[J]. *Current Biology*, 2014, 24(10): R453-R462.
- [13] Martarelli D, Verdenelli M C, Scuri S, et al. Effect of a probiotic intake on oxidant and antioxidant parameters in plasma of athletes during intense exercise training[J]. *Current Microbiology*, 2011, 62(6): 1689-1696.
- [14] Kullisaar T, Zilmer M, Mikelsaar M, et al. Two antioxidative lactobacilli strains as promising probiotics[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2002, 72(3): 215-224.
- [15] Ahire J J, Mokashe N U, Patil H J, et al. Antioxidative potential of folate producing probiotic *Lactobacillus helveticus* CD6[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2013, 50(1): 26-34.
- [16] Gao D W, Gao Z R, Zhu G H. Antioxidant effects of *Lactobacillus plantarum* via activation of transcription factor Nrf2[J]. *Food & Function*, 2013, 4(6): 982-989.
- [17] 刘海明. 益生菌补充干预运动员竞技运动表现的研究进展[J]. *山东体育学院学报*, 2021, 37(5): 83-90.
- [18] Dupuy O, Douzi W, Theurot D, et al. An evidence-based approach for choosing post-exercise recovery techniques to reduce markers of muscle damage, soreness, fatigue, and inflammation: A systematic review with meta-analysis[J]. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9: 403.
- [19] Huang W C, Wei C C, Huang C C, et al. The beneficial effects of *Lactobacillus plantarum* PS128 on high-intensity, exercise-induced oxidative stress, inflammation, and performance in triathletes[J]. *Nutrients*, 2019, 11(2): 353.
- [20] Lamprecht M, Bogner S, Schippinger G, et al. Probiotic supplementation affects markers of intestinal barrier, oxidation, and inflammation in trained men; a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial[J]. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2012, 9(1): 45.
- [21] Mazani M, Nemati A, Amani M, et al. The effect of probiotic yoghurt consumption on oxidative stress and inflammatory factors in young females after exhaustive exercise[J]. *JPMA the Journal of the Pakistan Medical Association*, 2018, 68(12): 1748-1754.
- [22] 赵琦韬, 沈续航, 沈继龙, 等. 新冠肺炎患者肠道菌群变化的研究进展[J]. *中国病原生物学杂志*, 2021, 16(12): 1480-1484.
- [23] Vaisberg M, Paixão V, Almeida E B, et al. Daily intake of fermented milk containing *Lactobacillus casei* shirota (lcs) modulates systemic and upper airways immune/inflammatory responses in marathon runners[J]. *Nutrients*, 2019, 11(7): 1678.
- [24] Gill S K, Allerton D M, Ansley-Robson P, et al. Does

short-term high dose probiotic supplementation containing *Lactobacillus casei* attenuate exertional-heat stress induced endotoxaemia and cytokinaemia?[J]. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2016, 26(3): 268-275.

[25] Gill S K, Teixeira A M, Rosado F, et al. High-dose probiotic supplementation containing *Lactobacillus casei* for 7 days does not enhance salivary antimicrobial protein responses to exertional heat stress compared with placebo[J]. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2016, 26(2): 150-160.

[26] Marshall H, Christmas B C R, Suckling C A, et al. Chronic probiotic supplementation with or without glutamine does not influence the eHsp72 response to a multi-day ultra-endurance exercise event[J]. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme, 2017, 42(8): 876-883.

Protective mechanism of probiotic supplements on oxidative stress levels in high-level athletes

NING Fangtang¹, MA Guoqiang^{2*}, WANG Yuru³

1. Shandong Provincial Water Sports Management Center, Rizhao 276800, China
2. Shanghai Institute of Sports Science (Shanghai Anti-Doping Center), Shanghai 200030, China
3. Sports Nutrition Branch of Chinese Nutrition Society, Beijing 100015, China

Abstract Oxidative stress is an important mechanism of cell aging and injury, and extensive exercise can cause oxidative stress damage to cells of multiple systems/organs in body. Probiotic supplements have many biological functions, such as antioxidant and immune regulation. This study focuses on high-level athletes, aiming to clarify the protective effect of probiotic supplements on exercise-related oxidative stress damage, by analyzing the impact of probiotic supplements on oxidative stress, inflammation levels, and immune state. Oxidative stress indicators are serum malondialdehyde (MDA), superoxide dismutase (SOD), reduced glutathione (GSH), and total antioxidant capacity (TAOC); Inflammatory markers include serum C-reactive protein (CRP) and tumor necrosis factor- α (TNF)- α , and the level of interleukin-6 (IL-6); Immune indicators include peripheral blood CD4+, CD8+, and CD4+CD25+T cell counts. The results showed that probiotic supplements can increase the levels of SOD, GSH, TAOC, CD4+CD25+T cell counts, and reduce the levels of MDA, TNF- α , CD4+, and CD8+ cell counts, indicating that probiotic supplements can improve the oxidative stress and inflammation caused by extensive exercise, and improve immune regulatory functions.

Keywords oxidative stress; cell injury; probiotic supplements; antioxidant capacity; inflammatory state; immune regulation ●



(责任编辑 傅雪)