

## 研究报告

## 短期摄入甜菜根汁对足球运动员体能和认知能力影响

杨丹亚<sup>1</sup>,王建芳<sup>2</sup>,杨建全<sup>3</sup>,张宁<sup>4</sup>

- (1. 商洛学院体育部,陕西 商洛 726000;2. 商洛学院化学工程与现代材料学院,陕西 商洛 726000;  
3. 西安医学院体育部,陕西 西安 710021;4. 西安体育学院运动生化教研室,陕西 西安 710021)

**摘要:**目的 评估连续3天摄入甜菜根汁(BRJ)对足球运动员爆发力、反复冲刺能力和疲劳状况下认知水平的影响。方法 本研究招募24名男性大学生足球运动员,采用随机、双盲、安慰剂对照实验设计,分为对照组、低剂量组[每天分2次共摄入300 mL(0.53% NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)BRJ]、高剂量组[每天分2次共摄入300 mL(4% NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)BRJ],受试者首先进行前测[反向跳跃(CMJ)、有Yo-Yo间歇恢复测试(YOYR)、stroop色词测试]建立基线,进行3天不同NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度BRJ或安慰剂补充,期间保持正常训练生活。最后1次补充BRJ后2h后进行检测。结果 经过短期BRJ补充,YOYR方面,低剂量组和高剂量组相较于对照组,跑动距离指标显著增加( $P<0.05$ ),且高剂量组的跑动距离明显多于低剂量组( $P<0.05$ )。测试过程中,第1~12趟冲刺的RPE,各组间没有显著性差异( $P>0.05$ );第13~20趟冲刺对照组RPE值显著高于低剂量和高剂量组( $P<0.05$ )。在CMJ方面,低剂量组和高剂量组相较于对照组,跳跃高度和功率上均显著提升( $P<0.05$ ),且高剂量组明显高于低剂量组( $P<0.05$ )。在stroop色词测验方面,低剂量组和高剂量组相较于对照组,正确率显著提升、反应时间显著缩短( $P<0.05$ )。结论 短期摄入BRJ可显著增强足球运动员的爆发力和反复冲刺能力,并能缓解反复冲刺带来的身体不适感,同时能够缓解高强度运动后认知能力的下降。

**关键词:**甜菜根汁;认知能力;足球运动员;反复冲刺;爆发力;硝酸根

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2023)05-0681-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2023.05.007

### Effects of short-term intake of beetroot juice on physical and cognitive performance of football players

YANG Danya<sup>1</sup>, WANG Jianfang<sup>2</sup>, YANG Jianquan<sup>3</sup>, ZHANG Ning<sup>4</sup>

- (1. Sports Department, Shangluo University, Shaanxi Shangluo 726000, China;2. College of Chemical Engineering and Modern Materials, Shangluo University, Shaanxi Shangluo 726000, China;3. Sports Department, Xi'an Medical University, Shaanxi Xi'an 710021, China;4. Department of Sports Biochemistry, Xi'an Physical Education University, Shaanxi Xi'an 710021, China)

**Abstract: Objective** To assess the effects of three consecutive days of beetroot juice (BRJ) consumption on the explosive power, repeated sprint ability, and cognitive performance of soccer players with fatigue. **Methods** A total of 24 male university soccer players were recruited for this randomized, double-blind, placebo-controlled experiment. They were divided into three groups: control, low-dose (300 mL/d with 0.53% NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), and high-dose (300 mL/d with 4% NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) BRJ supplementation. Baseline measurements including countermovement jumps (CMJ), Yo-Yo intermittent recovery (YOYR), and Stroop color-word tests were recorded. The participants consumed BRJ or a placebo for 3 d while maintaining their normal training and lifestyle routines. The final measurements were recorded 2 h after the last BRJ supplementation. **Results** Following short-term BRJ supplementation, individuals in both the low- and high-dose groups achieved significantly higher running distances than those in the control group ( $P<0.05$ ). Moreover, individuals in the high-dose group achieved a significantly greater running distance than those in the low-dose group ( $P<0.05$ ). There were no significant differences in ratings of perceived exertion (RPE) among the groups during the first 12 sprints ( $P>0.05$ ). However, during sprints 13-20, individuals in the control group achieved significantly higher RPE values than those in the

收稿日期:2022-05-19

基金项目:2019年度陕西省社科界重大理论与现实问题研究项目(编号:2019Z048);陕西省体育局项目(编号:17021);2017年陕西省教育科学规划立项课题(编号:SGH17H356);陕西省科技厅科技计划项目(编号:2022KRM1-40)

作者简介:杨丹亚 男 副教授 研究方向为体育康复、社会体育、社会医学 E-mail:yangdanya1972@163.com

low- and high-dose groups ( $P<0.05$ ). In terms of CMJ, compared to individuals in the control group, those in the low- and high-dose groups showed significant improvements in jump height and power ( $P<0.05$ ), with those in the high-dose group showing greater improvements than those in the low-dose group ( $P<0.05$ ). In the Stroop color-word test, compared to individuals in the control group, those in the low- and high-dose groups exhibited significant improvements in accuracy and reduced reaction times ( $P<0.05$ ). **Conclusion** We demonstrated that short-term BRJ supplementation significantly enhanced explosive power and repeated sprint ability in soccer players. It also alleviated the discomfort associated with repeated sprints and mitigated the decline in cognitive performance following high-intensity exercise.

**Key words:** Beetroot juice; cognitive ability; football players; repeated sprints; explosive power;  $\text{NO}_3^-$

足球是全球最具影响力和商业价值的运动, 体能被认为是实现技战术的物质基础。现代足球攻防节奏加快、身体对抗激烈, 对运动员的体能的要求日益提升<sup>[1]</sup>。足球的专项体能特点是以高强度氧能力为基础, 反复冲刺能力和爆发力为核心。所以足球运动员需要有氧和无氧能力俱佳, 此外由于在足球比赛中需要不断根据场上局势并迅速决策, 所以高强度运动和疲劳状态下保持较高的认知水平也是足球运动员竞技水平的重要组成<sup>[2]</sup>。现代体能训练中包括训练、恢复、膳食补充三大方面<sup>[3]</sup>。膳食补充过去常被忽视, 而现代训练学体系强调了膳食补充对运动员保持身体状况, 提高训练效果以及疲劳恢复的重要性。近年膳食补充被越来越多的运动员和教练员关注。

一氧化氮(NO)是一种气体信号分子, 可调节血管舒张、线粒体呼吸和骨骼肌收缩等对运动表现有影响的生理机制。研究表明通过补充  $\text{NO}_3^-$  增加血浆  $\text{NO}_2^-$  可改善肌肉氧合、肌肉代谢效率和收缩功能甚至有助于提高耐力运动成绩<sup>[4]</sup>。甜菜根汁(Beetroot juice, BRJ)是一种常用的富含硝酸盐( $\text{NO}_3^-$ )的补充剂, 因其含有较高的甜菜青素和多酚含量, 相比其他形式  $\text{NO}_3^-$  更能促进 NO 的合成<sup>[4-5]</sup>。研究表明  $\text{NO}_3^-$  可提高最大耐力运动时长、间歇高强度运动的运动表现以及运动经济性<sup>[5-7]</sup>。其机制可能是 BRJ 通过消化道分解, 将 NO 在血液中释放, 提高氧化磷酸化效率, 降低运动时的耗氧量, 并通过增加 2 型肌纤维的灌注和氧合, 加快肌纤维的募集速度和肌肉收缩频率, 从而提升肌肉爆发力<sup>[5,7]</sup>。近期研究表明相较于咖啡因, 摄入 BRJ 对疲劳状态下认知能力的维持有更多的帮助<sup>[4-6]</sup>。基于上述因素, BRJ 的功能性特征与足球体能特征吻合, 可能适合作为提升足球运动员训练和比赛中增强运动

表现的补充剂。但是国内尚缺乏此类研究, 本研究以青年足球运动员为研究对象, 对其进行短期的 BRJ 补充, 观测 BRJ 对运动员爆发力、反复冲刺和疲劳状态下认知能力的改善效果。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象与分组

#### 1.1.1 实验对象

本研究从本校足球运动队招募男性足球运动员 24 名。

入选标准: I. 运动等级为国家二级运动员以上。II. 3 个月内每周进行 3 次以上时长  $>45$  min 的足球专项训练, 不再另外进行训练干预。III. 有 Yo-Yo 间歇恢复测试(Yo-Yo intermittent recovery, YYIR)测试经验。

排除标准: I. 半年内有严重运动系统损伤。II. 长期饮用咖啡(每周饮用次数  $>4$  次)。III. 有使用氮泵、肌酸、中枢神经类兴奋保健品的习惯。IV. 对甜菜根或  $\text{NO}_3^-$  过敏。V. 受试者身体健康, 无烟酒嗜好, 近期无急慢性感染、运动损伤以及使用药物和营养补剂。

#### 1.1.2 分组方案

利用随机分组软件将受试者分为对照组( $n=8$ )、低剂量组( $n=8$ )、高剂量组( $n=8$ ), 分组方案见表 1。受试者每日服用 2 次 BRJ 或安慰剂, 服用时间分别为 9:00 和 14:00, 每次服用 150 mL(2 瓶), 每日共服共 300 mL, 对照组服用为甜味液体安慰剂, 低剂量组服用 0.53%  $\text{NO}_3^-$  浓度的甜菜汁、高剂量组服用 4%  $\text{NO}_3^-$  浓度的甜菜汁。

### 1.2 主要仪器与试剂

75 mL 装 BRJ(每份含  $\text{NO}_3^-$  400 mg, 批次: 50209340072024)、75 mL 装 BRJ(每份  $\text{NO}_3^-$  3 000 mg,

表 1 受试者一般情况和试验完成情况

Table 1 General characteristics and experimental completion status of participants

指标	对照组	低剂量组	高剂量组
年龄/岁	20.25±1.03	19.92±2.04	20.11±1.87
BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	19.87±3.09	20.04±2.20	19.67±2.99
最大摄氧量相对值/(mL/kg/min)	53.09±9.21	51.98±6.28	52.76±8.80
脱落例数/例	0	1	1

批次:05020934923713)购自英国 Beet it sport 公司;安慰剂:用胡萝卜甜味剂调制与 BRJ 味道接近的液体,并装入英国 Beet it sport BRJ 包装瓶,每份 75 mL; polar H10、Polar Vantage M2、Polar Team 软件购自芬兰博能竞品公司产品;My jump Lab pro of IOS 由 carlos Balsalobre 开发。

### 1.3 实验设计

本研究为随机双盲对照试验。受试者首先进行前测(测试顺序为 CMJ→YY1R→stroop 色词测试)建立基线,连续进行为期 3 天的 BRJ/安慰剂补充,期间保持正常训练生活。最后 1 次补充 BRJ 后 2 h 依次测试 CMJ、YY1R、stroop 色词测试、胃肠问卷。具体试验流程如图 1。

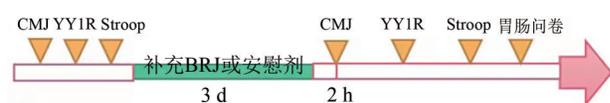


图1 试验流程图

Figure 1 Experimental flow chart

### 1.4 观测方法与指标

#### 1.4.1 反向跳跃

向跳跃(Countermovement jump, CMJ)参与者被要求站直,躯干伸直,膝盖完全伸展,双脚分开与肩同宽,然后快速向下运动(膝盖处大约 90°),然后快速向上运动,手臂在运动过程中交叉置于胸前<sup>[9]</sup>。每个参与者都练习 CMJ。在试验期间,参与者在 YY1R 之前和之后立即使用 My jump Lab pro 软件,跳跃之间有大约 30 s 的休息时间。该指标用于评估受试者爆发力和功率。

#### 1.4.2 Yo-Yo 间歇恢复测试

1)进行 5 min 慢跑+5 min 8 个动作的全身拉伸。2)受试者被要求以递增速度重复执行 2×20 m 的往返跑步,该速度由音频系统提供的提示音予以控制。3)在每 2×20 m 跑之间,参与者进行 10 s 的主动恢复,在此期间,他们绕着位于起点/终点线后 5 m 的圆锥体行走。4)当参与者在提示音结束之前未能越过终点线时会发出警告。当参与者在连续两次在提示音结束前无法越过终点线时,记录最后完成的阶段,并记录所覆盖的总距离作为表现的衡量标准。在整个测试过程中每次穿梭后记录感知劳累的评分(Rating of perceived exertion, RPE)<sup>[8]</sup>。随后对 YY1R 的每个阶段的 RPE 数据进行平均以进行统计分析。YY1R 中距离用于评估受试者反复冲刺能力和 RPE 评分用于评价受试者疲劳状况。

#### 1.4.3 Stroop 色词测验

在 YY1R 测试完成后立即进行,以确定补充和锻炼对注意力、干扰和认知的任何影响<sup>[11]</sup>。Stroop

任务是评估执行功能中抑制功能的经典范式。Stroop 任务中会显示“绿/蓝/红/黄”的 4 个表颜色的汉字,同时显示“绿/蓝//红/黄”4 个颜色。颜色和汉字随机生成组合。当字体颜色和汉字意思一致时的为“色-词一致任务条件”。不一致时称为“色-词不一致任务条件”。整个任务共包含 32 个 trials,(8 个“一致”trials,24 个“不一致”trials)。随机分配目标刺激,刺激呈现时间 2 000 ms,注视点为“+”,刺激间隔时长(Inter-stimulus interval, ISI)分别为 2 000、4 000、6 000、8 000、10 000 ms,5 个间隔时长随机出现。整个 Stroop 色词测验时长为 4 min 16 s,测试过程中,受试者尽可能快地对刺激的颜色作出判断并用惯用手按键。刺激的颜色为红色按数字 1、黄色按数字 2、绿色按数字 3、蓝色按数字 4<sup>[10]</sup>,详见图 2。

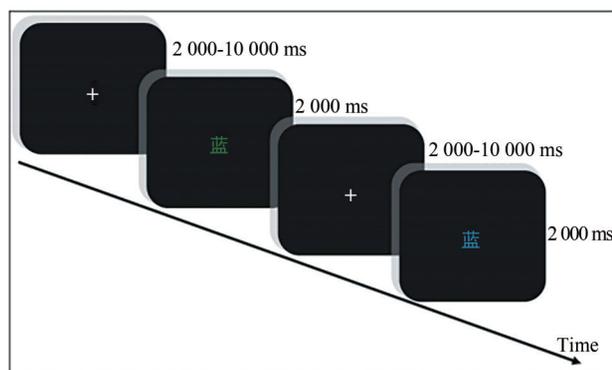


图2 Stroop 色词测验流程图

Figure 2 Flowchart of the stroop color-word test

#### 1.4.4 肠胃不适问卷调查

问卷用于回顾整个 BRJ 服用期间任何胃肠道不适症状。本问卷包括 2 个部分,每个部分包含 7 个问题,共 14 个问题。第 1 部分为上消化道问题,第 2 部分为下消化道问题。每个受试者填写全部 14 个问题,每题 10 分,范围从 0(完全没有问题)到 9(从未有过的严重)分。上消化道或下消化道症状的得分总和为问卷总分。该指标用于评估 BRJ 引起的肠胃不适情况<sup>[12]</sup>。

### 1.5 统计学分析

本研究采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析,所有参数以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表达,通过 matched samples *t*-test 检测组内前后差异、通过 One-Way ANOVA 进行组间比较。本研究将统计学水平设置为  $\alpha=0.05$ 。 $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 受试者一般情况

表 2 显示:对照组、低剂量组、高剂量组受试者

在年龄、BMI 和最大摄氧量差异无统计学意义( $P>0.05$ )。对照组受试者全部完成实验,低剂量组受试者中 1 人未按时摄入 BRJ,高剂量组 1 人在后测时因集中隔离未能参与,未纳入统计,本次研究共 2 个样本脱落。

### 2.2 BRJ对 YY1R 和 RPE 指标的影响

图 3 显示:经过短期 BRJ 补充,低剂量组和高剂量组受试者与对照组比较,在 YY1R 中跑动距离指标显著增加( $P<0.05$ ),且高剂量组的跑动距离明显多于低剂量组( $P<0.05$ )。测试过程中,第 1~12 趟冲刺的 RPE,各组间没有显著性差异( $P>0.05$ );第 13 趟冲刺后对照组 RPE 值显著高于低剂量和高剂量组( $P<0.05$ )。第 13 趟冲刺后对照组 RPE 变化斜率大于低剂量和高剂量组( $P<0.05$ )。

### 2.3 BRJ对 CMJ 指标的影响

图 4 显示:经过短期补充 BRJ,低剂量组和高剂量组受试者与对照组比较,在 CMJ 的跳跃高度和功率上均显著提升,且高剂量组明显高于低剂量组

( $P<0.05$ )。

### 2.4 BRJ对 Stroop 测试准确性和反应时间的影响

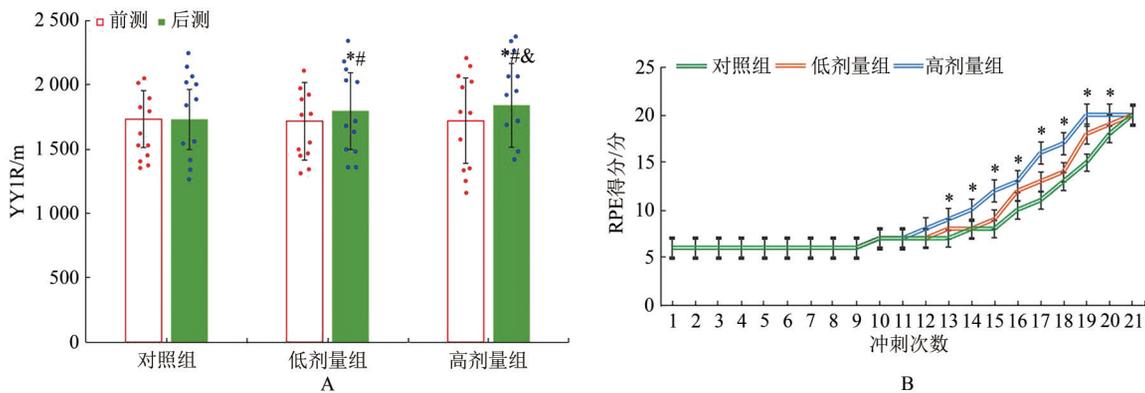
图 5 显示:经过短期补充 BRJ、低剂量组和高剂量组受试者与对照组比较,在 stroop 色词测验的正确率显著提升、反应时间显著缩短( $P<0.05$ ),高剂量组涨幅虽大于低剂量组,但差异不具有统计学意义( $P>0.05$ )。

### 2.5 BRJ对胃肠不适状况的影响

表 3 显示:服用 BRJ 期间,对照组、低剂量组、高剂量组受试者均未发生胃肠不适。对照组、JBRJ 组和高剂量组差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

## 3 讨论

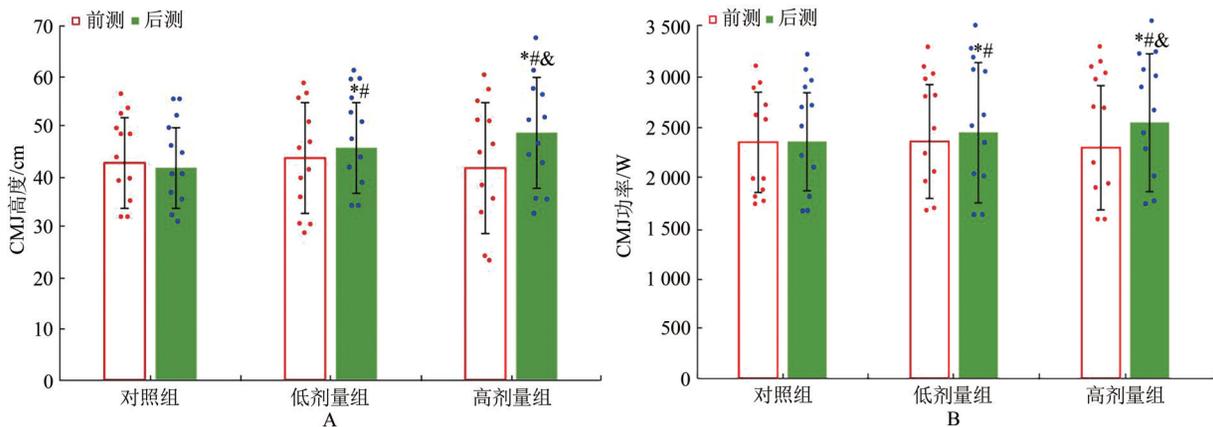
近年足球战术中高位逼抢和三中位体系盛行,球员每场比赛平均跑动距离平均比 10 年前增加 12%~18%,冲刺距离约占 21%。短距离的反复冲刺能力已成为足球关键体能<sup>[13]</sup>。通过膳食营养补充剂摄入提升运动表现是常用手段之一。BRJ 因富



注:A:组间跑步距离比较;B:组间RPE分数比较;“\*”表示与前测比较具有显著性差异( $P<0.05$ );“#”表示与对照组比较具有显著性差异( $P<0.05$ );“&”表示与低剂量组比较具有显著性差异( $P<0.05$ )

图3 各组 YY1R 和 RPE 测试结果

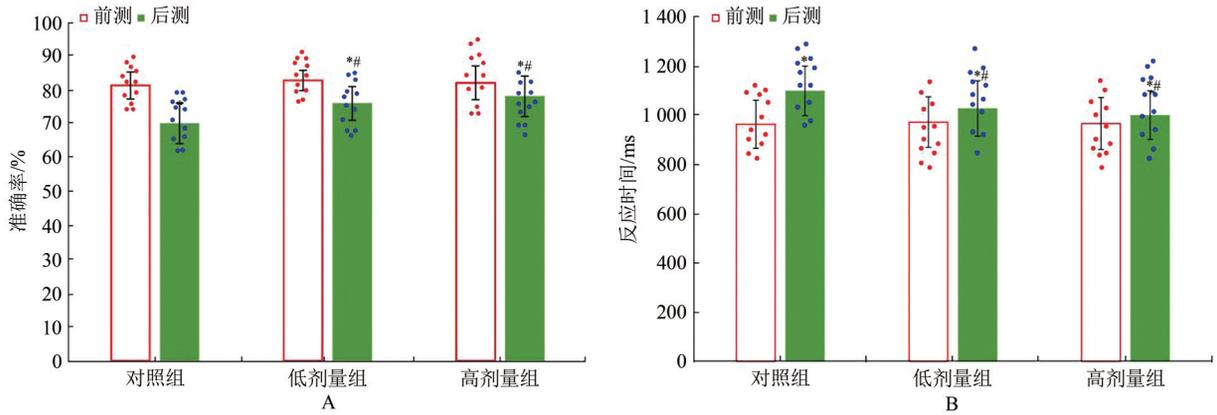
Figure 3 Results of YY1R and RPE tests in each group



注:A:组间CMJ跳跃高度比较;B:组间CMJ功率比较;“\*”表示与前测比较具有显著性差异( $P<0.05$ );“#”表示与对照组比较具有显著性差异( $P<0.05$ );“&”表示与低剂量组比较具有显著性差异( $P<0.05$ )

图4 各组 CMJ 测试结果

Figure 4 Results of CMJ tests in each group



注:A:组间 stroop 测试结果准确性比较;B:组间 stroop 测试反应时间比较;“\*”表示与前测比较具有显著性差异( $P<0.05$ ); “#”表示与对照组比较具有显著性差异( $P<0.05$ );“&”表示与低剂量组比较具有显著性差异( $P<0.05$ )

图5 各组 stroop 结果

Figure 5 Stroop results in each group

表2 胃肠不适情况

Table 2 Gastrointestinal discomfort situation

组别	平均得分/分	胃肠不适人数/个	
		上消化道不适	下消化道不适
对照组	0	0	0
低剂量组	0	0	0
高剂量组	0	0	0

含甜菜青素和多酚使其更易合成 NO, 血液浓度上升速度也更快<sup>[14]</sup>。但是有关补充 BRJ 对高强度间歇性运动表现的效果, 不同研究间结果存在矛盾<sup>[15]</sup>, 差异可能源于不同研究中测试方案、补充剂量和持续时间的不同。本研究对足球运动员进行了为期 3 天的短期 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> BRJ 或安慰剂补充, YY1R 测试中补充了 BRJ 的运动员的跑动距离均出现显著提升, 接受高浓度 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> BRJ 补充的运动员提升幅度更大。YY1R 测试模拟足球比赛中的高强度反复冲刺场景, 是国际公认评价反复冲刺能力的“黄金标准”。本研究结果与先前 THOMPSON 等<sup>[15]</sup> 研究结果相似。NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 摄入已被证明可提升高强度连续或间歇性运动期间肌肉三磷酸腺苷 (Adenosine triphosphate, ATP) 和磷酸肌酸 (Creatine phosphate, CP) 使用效益<sup>[15]</sup>。也有研究发现补充 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 可缓解缺氧情况下 CP 恢复速度减慢的趋势, 使 CP 恢复速度达到常氧水平<sup>[16]</sup>。反复冲刺会需要 II 型纤维的大量募集, 但是随着冲刺次数的增加, 氧债积累, 机体处于缺氧状态, 在高强度回合之间发生的 II 型纤维中 ATP 和 CP 的再合成速率下降, 导致运动表现下降。补充 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 提升 NO 血清浓度会提升高强度运动期间肌肉 CP 利用率以及运动后肌肉 ATP 和 CP 再合成率速率。该生理适应现象可能是改善足球运动员反复冲刺表现的主要机制。摄入 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度越高, 则血液 NO 释放越多, 释放量与运动表现呈现

正相关<sup>[17]</sup>。

本研究通过 CMJ 对运动员的爆发力和最大输出功率进行评估, 发现短期摄入 BRJ 能够显著提升 CMJ 的跳跃高度和输出功率, 涨幅与摄入 BRJ 的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度密切相关, 与 VAN der AVOORT 等<sup>[18]</sup> 的研究结果基本一致, 补充 BRJ 后, 血液 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 水平上升后, 诱发 II 型肌纤维募集和收缩速度提升, 表现出力量和速率增加。也有研究认为短期 BRJ 摄入可增强体内骨骼肌的兴奋-收缩耦合<sup>[19]</sup>。

认知能力在团队运动中起着重要作用, 其包括感知、学习、决策和交流等环节。在高强度的运动状态下, 认知功能会出现下降, 反应时间也会延长。足球比赛中运动员通常需要在有球或无球状态下不断做出快速且合理的决策, 错误的决策或不当的处理会导致球权转换甚至失球<sup>[20]</sup>。本研究发现经过短期补充 BRJ 的运动与其在经过 YY1R 测试这一高强度运动后, 处于疲劳状态下进行的 Stroop 测试中, 正确率和反应时间相较未运动时依然出现明显下降, 但是与未摄入 BRJ 的运动员相比降幅较小。Stroop 测试表现与前额叶皮层的功能有关。NO 能够刺激神经传递、血管舒张和神经血管耦合。摄入 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 通过改善局部脑灌注, 并增强脑血流与神经元活动耦合, 达到调节脑血流和改善认知任务表现的目的<sup>[21]</sup>。

#### 4 结论

短期摄入 BRJ 能够显著增强足球运动员的爆发力和反复冲刺能力, 并能缓解反复冲刺带来的身体不适感。BRJ 中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的浓度会对改善效果产生影响, BRJ 对高强度运动后认知能力的下降有一定缓解作用。

## 参考文献

- [1] 李春阳, 王庆军. 足球训练方法论的流变、反思与现代实践[J]. 西安体育学院学报, 2021, 38(5): 625-632.  
LI C Y, WANG Q J. The change, reflection and development trend of football training methodology [J]. Journal of Xi'an Physical Education University, 2021, 38(5): 625-632.
- [2] 王凡, 章咏, 谭雄刚, 等. 不同位置足球运动员体能特征研究[J]. 青少年体育, 2021, (3): 56-58.  
WANG F, ZHANG Y, TAN X G, et al. Research on the Physical Fitness Characteristics of Soccer Players in Different Positions [J]. Youth Sport, 2021, (3): 56-58.
- [3] 赵治治, 王金祥, 申颜莉, 等. 足球运动员膳食营养管理[J]. 食品工业, 2021, 42(4): 561.  
ZHAO Z Z, WANG J X, SHEN Y L, et al. Nutritional Management for Football Players [J]. The Food Industry, 2021, 42(4): 561.
- [4] 魏晨光, 于亮. 甜菜根汁补充对运动经济性及耐力运动表现的影响研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 2021, 40(7): 573-581.  
WEI C G, YU L. Progress on the Effects of Beetroot Juice Supplementation on Exercise Economy and Endurance Performance [J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2021, 40(7): 573-581.
- [5] 王文倩. 甜菜根汁对短跑运动员身体机能和运动表现的影响[D]. 广州: 广州体育学院, 2021.  
WANG W Q. Effects of beetroot juice on body function and athletic performance of sprinters [J]. Guangzhou: Guangzhou Sport University, 2021.
- [6] ZAMANI H, de JOODE M E J R, HOSSEIN I J, et al. The benefits and risks of beetroot juice consumption: A systematic review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 61(5): 788-804.
- [7] Casazza G A, Tovar A P, Richardson C E, et al. Energy availability, macronutrient intake, and nutritional supplementation for improving exercise performance in endurance athletes [J]. Current Sports Medicine Reports, 2018, 17(6): 215-223.
- [8] 周兴生, 林文毅, 何晓龙, 等. 男子足球运动员YO-YO测试与运动后血乳酸、心率变化相关性的分析[J]. 广州体育学院学报, 2017, 37(4): 85-89.  
ZHOU X S, LIN W T, HE X L, et al. Analysis indexes of YO-YO test with BLA removal rate and HR recovery rate of the male soccer players [J]. Journal of Guangzhou Sport University, 2017, 37(4): 85-89.
- [9] 张永鹏, 吉斌, 杨佳英, 等. F-MARC IPPs对足球运动损伤风险预防效应的元分析[J]. 中国体育科技, 2021, 57(12): 35-43.  
ZHANG Y P, JI B, YANG J Y, et al. F-MARC IPPs' s prevention effect on football injury risk: A meta-analysis [J]. China Sport Science and Technology, 2021, 57(12): 35-43.
- [10] 谷倩. 单次高强度间歇训练和中等强度持续训练对青年人执行功能的影响——一项基于fNIRS的研究[J]. 上海: 上海交通大学, 2020.  
GU Q. Acute effects of one-bout high intensity interval training and moderate intensity continue training on executive function among young adults—A study based on fNIRS [J]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2020.
- [11] 李琳, 崔洁, 项琪, 等. 8周不同类型的运动对女大学生执行功能的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2020, 39(10): 810-816.  
LI L, CUI J, XIANG Q, et al. Impact of 8-week exercise of different types on executive function of female college students [J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2020, 39(10): 810-816.
- [12] BERJISIAN E, MCGAWLEY K, SAUNDERS B, et al. Acute effects of beetroot juice and caffeine co-ingestion during a team-sport-specific intermittent exercise test in semi-professional soccer players: A randomized, double-blind, placebo-controlled study [J]. BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation, 2022, 14(1): 52.
- [13] 王泽军, 游松辉. 大数据背景下基于位置数据的足球战术分析方法及发展趋势[J]. 上海体育学院学报, 2021, 45(9): 60-69, 98.  
WANG Z J, YOU S H. Soccer tactical analysis methods and development tendency based on positional data under the background of big data [J]. Journal of Shanghai University of Sport, 2021, 45(9): 60-69, 98.
- [14] Domínguez R, Maté-Muñoz J L, Cuenca E, et al. Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts [J]. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 2018, 15(1): 2.
- [15] THOMPSON C, VANHATALO A, JELL H, et al. Dietary nitrate supplementation improves sprint and high-intensity intermittent running performance [J]. Nitric Oxide, 2016, 61: 55-61.
- [16] ESEN O, NICHOLAS C, MORRIS M, et al. No effect of beetroot juice supplementation on 100-m and 200-m swimming performance in moderately trained swimmers [J]. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2019, 14(6): 706-710.
- [17] Nyakayiru J, Jonvik K L, Trommelen J, et al. Beetroot juice supplementation improves high-intensity intermittent type exercise performance in trained soccer players [J]. Nutrients, 2017, 9(3): 314.
- [18] VAN der AVOORT C M T, VAN LOON L J C, VERDIJK L B, et al. Acute effects of dietary nitrate on exercise tolerance, muscle oxygenation, and cardiovascular function in patients with peripheral arterial disease [J]. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2021, 31(5): 385-396.
- [19] Anderson O K, Martinez-Ferran M, Lorenzo-Calvo J, et al. Effects of Nitrate Supplementation on Muscle Strength and Mass: A Systematic Review [J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2022, 36(12): 3562-3570.
- [20] 邱林. 中国女子足球国家队有球技术失误原因的研究分析[D]. 苏州: 苏州大学, 2012.  
QIU L. Analysis of the causes for Chinese national women's football team's technical errors with the ball [J]. Suzhou: Soochow University, 2012.
- [21] DEGUCHI Y, MIYAZAKI K. Anti-hyperglycemic and anti-hyperlipidemic effects of guava leaf extract [J]. Nutrition & Metabolism, 2010, 7: 9.