

紫苏叶总黄酮对青少年运动员抗疲劳能力的影响

刘宝峰¹ 梁 霄²

(1. 南阳农业职业学院, 河南 南阳 473000; 2. 南阳理工学院, 河南 南阳 473004)

摘要: [目的]明确紫苏叶总黄酮对青少年运动员抗疲劳能力的改善效果,并比较不同纯化方式及液料比对其功效的影响。[方法]采用微波辅助提取法提取紫苏叶总黄酮,使用两种纯化方法进行总黄酮纯化。筛选年龄为16岁、体力相当的男性田径项目青少年运动员,开展服用总黄酮的试验,测试服用前后男性田径项目青少年运动员的力竭时间、最大摄氧量、血清乳酸、血清尿素氮、肌酸激酶水平。[结果]紫苏叶总黄酮能显著延长青少年运动员力竭时间、提高最大摄氧量,并有效降低运动后血清乳酸、尿素氮及肌酸激酶水平。采用色谱分离的总黄酮纯化方式,可高效保留紫苏叶总黄酮中的抗疲劳活性成分。[结论]紫苏叶总黄酮有助于提升青少年运动员的抗疲劳能力与运动恢复效率。

关键词: 紫苏叶; 总黄酮; 微波辅助提取; 树脂纯化; 色谱分离; 青少年运动员; 抗疲劳能力

Effects of total flavonoids from perilla leaves on anti-fatigue capacity in adolescent athletes

Liu Baofeng¹ Liang Xiao²

(1. Nanyang Vocational College of Agriculture, Nanyang, Henan 473000, China;

2. Nanyang Institute of Technology, Nanyang, Henan 473004, China)

Abstract: [Objective] To clarify the improvement effects of total flavonoids from perilla leaves on the anti-fatigue capacity of adolescent athletes and to compare the effects of different purification methods and liquid-to-solid ratios on their efficacy. [Methods] Total flavonoids from perilla leaves were extracted using microwave-assisted extraction, and two purification methods were employed for total flavonoid purification. Male adolescent track and field athletes aged 16 years with comparable physical fitness were selected to participate in a trial involving total flavonoid intake. Exhaustion time, maximum oxygen uptake, and serum lactate, serum urea nitrogen, and creatine kinase levels were measured in the male adolescent track and field athletes before and after total flavonoid intake. [Results] Total flavonoids from perilla leaves significantly prolonged the exhaustion time and increased maximum oxygen uptake in adolescent athletes, while effectively reducing post-exercise serum lactate, serum urea nitrogen, and creatine kinase levels. The chromatographic separation method for total flavonoid purification effectively retained the anti-fatigue active components in total flavonoids from perilla leaves. [Conclusion] Total flavonoids from perilla leaves help improve the anti-fatigue capacity and exercise recovery efficiency of adolescent athletes.

Keywords: perilla leaf; total flavonoids; microwave-assisted extraction; resin purification; chromatographic separation; adolescent athletes; anti-fatigue capacity

青少年运动员作为竞技体育中的特殊群体,其运动期运动生涯发展密切相关^[1]。目前,针对运动疲劳的研究疲劳问题不仅会直接影响竞技表现与训练效果,还与长已形成涵盖自由基损伤、代谢产物堆积、能量耗竭等多重

基金项目:河南省科技创新发展计划项目(编号:HNKJCX202213)

通信作者:梁霄(1989—),女,南阳理工学院讲师,博士。E-mail:lx327710@163.com

收稿日期:2026-05-11 改回日期:2026-07-30

引用格式:刘宝峰,梁霄. 紫苏叶总黄酮对青少年运动员抗疲劳能力的影响[J]. 食品与机械, 2026, 42(8): 169-174.

Citation: Liu Baofeng, Liang Xiao. Effects of total flavonoids from perilla leaves on anti-fatigue capacity in adolescent athletes[J]. Food & Machinery, 2026, 42(8): 169-174.

机制的学说体系,其中,自由基损伤学说表明,剧烈运动后氧自由基会过量产生,进而破坏细胞膜结构,不仅抑制中枢神经,还会导致肌肉收缩功能减弱,而这一机制和高强度训练下青少年运动员产生的持续性疲劳高度吻合^[2]。

作为传统药食两用植物,紫苏叶中的总黄酮含量丰富,而总黄酮的邻二酚羟基由于具有强抗氧化活性,能够高效清除超氧阴离子等活性氧物种。当前研究中,谢彬等^[3]以紫苏叶为原料,采用响应面法优化超声波辅助提取总黄酮工艺,并通过试验评估其抗运动疲劳活性,发现紫苏叶总黄酮提取液具有显著的抗运动疲劳作用。然而,青少年运动员在生理特征上与成人不同,由于其抗氧化酶系统调节能力较弱,且骨骼肌发育尚未成熟,因此对运动应激的耐受阈值更低^[4]。为此,在青少年运动员群体中开展紫苏叶总黄酮抗疲劳研究,既能够填补青少年运动营养干预领域中天然植物提取物的研究空白,也能够为开发高效、安全的运动恢复制剂提供科学依据,对于提升青少年运动员竞技水平与训练质量具有重要现实意义。

有关紫苏叶总黄酮对于抗疲劳能力影响的研究,中国主要聚焦于紫苏叶总黄酮的提取工艺优化以及总黄酮抗疲劳活性的初步验证等方向^[5]。例如,许梦璐等^[6]利用超声波辅助提取技术,结合响应面法优化了液料比、提取温度、乙醇体积分数等提取条件,提高了总黄酮提取率。同时通过动物试验证明了紫苏叶总黄酮具有缓解运动疲劳的生物活性。国外针对广枣黄酮、赣南脐橙皮黄酮、冬凌草总黄酮等黄酮类化合物的抗疲劳作用开展了多维度研究,并从细胞层面深入解析了运动疲劳机制^[7-8]。

研究拟综合以往研究成果,对紫苏叶总黄酮对青少年运动员抗疲劳能力的影响展开深入研究。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

紫苏叶:采集自黑龙江种源地,将其粉碎过 20 目筛,并置于干燥器中备用;

无水乙醇:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

石油醚:分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司;

甲醇:色谱纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

超纯水:实验室自制;

大孔树脂:AB-8,天津浩聚树脂科技有限公司;

HCl 溶液、NaOH 溶液、乙酸水溶液:5%,天津市科密欧化学试剂有限公司;

微波合成仪:Multi SYNTH 型,意大利 Milestone 公司;

电子天平:FA1204B 型,上海精密仪器仪表有限公司;

冷冻干燥机:LGCJ-10 型,北京松源华兴科技发展有限公司;

旋转蒸发仪:RE52-86A 型,上海亚荣生化仪器厂;

超纯水制取系统:Heal Force SMART-N 型,上海圣科仪器设备有限公司;

pH 计:雷磁 PHSJ-3F 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

全息快速纯化色谱系统:Grace Reveleris™ 型,美国 Alltech 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 紫苏叶总黄酮提取方法 称取 1.0 g 紫苏叶粉末,置于微波玻璃反应器中,按不同液料比加入 70% 乙醇溶液,采用微波合成仪在间歇脉冲模式下进行辅助提取。提取过程中设定微波功率 400 W,提取温度 60℃,提取时间 20 min,脉冲模式为开 5 s/关 5 s。提取结束后静置冷却,过滤去除残渣,滤液经石油醚萃取 3 次以除去脂溶性成分^[9],最终用乙醇溶液定容至 100 mL,得到紫苏叶总黄酮提取液。

1.2.2 紫苏叶总黄酮纯化

(1) AB-8 大孔树脂纯化法:对大孔树脂进行预处理:依次用 95% 乙醇浸泡 24 h、5% HCl 溶液和 5% NaOH 溶液分别浸泡 3 h,每次浸泡后均用蒸馏水洗至中性,最终将处理好的树脂保存于蒸馏水中备用^[10]。将紫苏叶黄酮提取液减压旋蒸至无醇,经冷冻干燥后得到粗黄酮粉末。取该粉末配制成质量浓度为 1.0 mg/mL 的上样液,以每小时 2 倍柱体积的流速通过装填好树脂的层析柱(上样量为 5 倍柱体积),吸附完成后静置 30 min,用 70% 乙醇洗脱,收集 4 倍柱体积洗脱液,经 50℃ 减压旋蒸至干,冷冻干燥得纯化黄酮。

(2) 色谱分离法:称取纯化后的紫苏叶总黄酮粉末 0.5 g,用 30% 甲醇溶解并定容至 500 mL,配制成 1 mg/mL 的样品溶液。采用全息快速纯化色谱系统进行分离,色谱柱为 12 g Reveleris™ RP C₁₈ 柱,流动相为 1% 乙酸水溶液(A)和甲醇(B),流量 10 mL/min,检测波长 280, 320 nm,进样量 15 mL。梯度洗脱程序:0~3 min, 20%~45% B; 3~12 min, 45%~75% B; 12~20 min, 75% B 等度洗脱。收集目标组分后浓缩干燥,获得高纯度黄酮。

1.2.3 剂量筛选与急性毒性预试验 为确定紫苏叶总黄酮在青少年运动员中的安全剂量,首先参考前期细胞试验及动物等效剂量换算,初步推荐人体每日剂量为 80~

120 mg/d。随后开展急性毒性预试验:按人体推荐剂量(100 mg/d)的50倍(5 g/(kg·d))单次灌胃SD大鼠,连续观察14 d,未见动物死亡、中毒症状及体重、脏器异常。亚急性毒性试验中,大鼠连续28 d灌胃50~200 mg/(kg·d),血液生化及组织病理学均未见异常。因此,综合结果,选取100 mg/d作为青少年运动员的干预剂量,该剂量既在安全范围内,又具备预期抗疲劳活性。

为确保试验结果的统计学效力和可靠性,在正式试验前依据预试验结果及文献[9]进行了样本量估算。参考前期预试验中紫苏叶总黄酮干预组与对照组在力竭时间上的均值差及标准差(预设效应量 $d=1.2$),设定检验效能($1-\beta$)为0.8,显著性水平 α 为0.05,采用双侧检验,使用G*Power软件计算得出每组至少需要10名受试者。考虑试验周期较长及可能的脱落情况(按20%脱落率估算),每组需招募至少12人。研究共设9个组别(1个对照组+8个总黄酮服用组),因此计划招募男性田径项目青少年运动员共108人。

招募对象为年龄16岁、体力相当的男性田径项目青少年运动员,纳入标准包括:训练年限 >2 年,近期无重大疾病或运动损伤,无紫苏叶过敏史,且未服用维生素C、E等抗氧化补充剂及兴奋剂。所有受试者及其监护人均签署知情同意书,并通过学校伦理委员会审批。

最终实际招募并完成全程试验的受试者共102人,每组样本量分别为:对照组12人,第1组13人,第2组12人,第3组13人,第4组11人,第5组12人,第6组13人,第7组12人,第8组12人,所有组别人数均满足最低统计要求。试验过程中共脱落6人,脱落原因为伤病或个人原因退出,脱落率控制在5.6%,符合试验预期。

试验分组与干预方式:随机将选出的男性田径项目青少年运动员分为对照组和多个总黄酮服用组。其中总黄酮服用组的总黄酮食用剂量均为100 mg/d,但所服用的总黄酮提取与纯化方式不同。第1~4个总黄酮服用组:纯化方式为基于AB-8大孔树脂的紫苏叶总黄酮纯化方法,液料比(乙醇溶液与紫苏叶粉末的比值)分别为30:1,40:1,50:1,60:1(mL/g);第5~8个总黄酮服用组:纯化方式为基于色谱分离的紫苏叶总黄酮纯化方法,液料比分别为30:1,40:1,50:1,60:1(mL/g)。

将纯化总黄酮制成胶囊剂型食用。给药周期与训练周期同步,连续补充8周。给药方式:将纯化总黄酮制成胶囊,每粒含总黄酮100 mg,每日晨起空腹口服1粒,温开水送服。对照组同步服用等量淀粉胶囊,外观、口感与干预胶囊一致,试验期间受试者及数据收集者均不知分组情况。

参与期间,为所有参与的男性田径项目青少年运动

员制定统一的训练方案:

(1) 抗阻训练:每周7次,针对下肢的训练包括深蹲、腿举,针对上肢的训练包括卧推、引体向上,每种训练做3组 $\times$ 12次/组。

(2) 有氧训练:每周进行7次,每次持续60 min。

1.2.4 抗疲劳能力评估

(1) 力竭时间:通过递增负荷跑步机试验记录参与的男性田径项目青少年运动员的力竭时间。将初始速度设置为8 km/h,每2 min增加1 km/h。

(2) 最大摄氧量:使用气体分析仪测定参与的男性田径项目青少年运动员的最大摄氧量。

(3) 生理生化指标:测试参与的男性田径项目青少年运动员的血清乳酸(lactic acid, LA)、血清尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、肌酸激酶(creatine kinase, CK)水平。评估测试中,于运动后即刻采集受试者肘静脉血5 mL,静置30 min后以3 000 r/min离心15 min,分离血清,−80℃冻存待测。采用全自动生化分析仪及配套试剂盒测定血清A(L酶比色法)、BUN(脲酶法)及CK(速率法)水平。

1.3 数据处理与统计分析

所有试验数据采用SPSS 26.0软件进行统计分析。计量资料以均值 $\pm$ 标准差表示。多组间比较采用单因素方差分析,方差齐时采用LSD法进行事后两两比较,方差不齐时采用Games-Howell检验。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 对青少年运动员力竭时间的影响

由表1可知,相比于对照组,总黄酮服用组的力竭时间较对照组显著延长28%,表明紫苏叶总黄酮可有效提升青少年田径运动员的抗疲劳能力。对于第1~4组,液料

表1 紫苏叶总黄酮对青少年运动员力竭时间的影响

Table 1 Effect of total flavonoids from perilla leaves on the exhaustion time of adolescent athletes ($n=102$)

组别	纯化方式	液料比(mL/g)	力竭时间/min
对照组	无	—	12.3 $\pm$ 1.8
第1组	AB-8大孔树脂	30:1	14.1 $\pm$ 2.0
第2组	AB-8大孔树脂	40:1	15.6 $\pm$ 2.3
第3组	AB-8大孔树脂	50:1	16.2 $\pm$ 2.1
第4组	AB-8大孔树脂	60:1	15.0 $\pm$ 1.9
第5组	色谱分离	30:1	14.8 $\pm$ 2.2
第6组	色谱分离	40:1	16.5 $\pm$ 2.4
第7组	色谱分离	50:1	17.1 $\pm$ 2.0
第8组	色谱分离	60:1	15.9 $\pm$ 2.1

比从 30:1 (mL/g)增加至 50:1 (mL/g)时,力竭时间呈上升趋势,然而 60:1 (mL/g)组相比 50:1 (mL/g)组略有下降,说明最佳液料比为 50:1 (mL/g),可能是由于过高液料比容易导致总黄酮提取效率饱和或杂质增多。对于第 5~8 组,最佳液料比为 50:1 (mL/g)。

AB-8 大孔树脂组的平均力竭时间为 (15.2±2.1) min,色谱分离组的平均力竭时间为 (16.1±2.2) min,相比 AB-8 组,色谱分离组的力竭时间延长约 6%,说明色谱纯化这种总黄酮纯化方式能够更有效地保留高纯度木犀草素、芹菜素等抗疲劳活性成分。

紫苏叶总黄酮延长力竭时间的效果与其活性成分(如木犀草素、芹菜素)清除运动诱发过量自由基的能力密切相关。通过减轻氧化应激对骨骼肌细胞膜的损伤,维持肌纤维收缩功能,延缓中枢与外周疲劳的发生。色谱分离法更高效地保留了这些活性黄酮单体,因此其效果优于大孔树脂纯化组。

2.2 对青少年运动员最大摄氧量的影响

由表 2 可知,相比对照组,总黄酮服用组的最大摄氧量显著提高 9.1%,说明紫苏叶总黄酮能够有效增强青少年田径运动员的有氧代谢能力。对于 AB-8 大孔树脂组,当液料比从 30:1 (mL/g)增加至 50:1 (mL/g)时,最大摄氧量呈上升趋势,然而当液料比增加至 60:1 (mL/g)时,最大摄氧量略有下降,说明提取中的最佳液料比为 50:1 (mL/g),可能由于过高液料比导致提取效率饱和或杂质干扰。对于色谱分离组,最佳液料比为 50:1 (mL/g)。

色谱分离纯化组的平均最大摄氧量为 (53.2±3.6) mL/(kg·min),AB-8 大孔树脂纯化组的平均最大摄氧量为 (52.0±3.4) mL/(kg·min),色谱分离纯化组更高,说明此种纯化方式更能有效保留总黄酮中提升有氧能力

表 2 紫苏叶总黄酮对青少年运动员最大摄氧量的影响
Table 2 Effect of total flavonoids from perilla leaves on the maximum oxygen uptake of adolescent athletes (n=102)

组别	纯化方式	液料比 (mL/g)	最大摄氧量/ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
对照组	无	—	48.2±3.1
第 1 组	AB-8 大孔树脂	30:1	50.5±3.4
第 2 组	AB-8 大孔树脂	40:1	52.1±3.6
第 3 组	AB-8 大孔树脂	50:1	53.8±3.2
第 4 组	AB-8 大孔树脂	60:1	51.7±3.5
第 5 组	色谱分离	30:1	51.2±3.3
第 6 组	色谱分离	40:1	53.5±3.7
第 7 组	色谱分离	50:1	55.1±3.1
第 8 组	色谱分离	60:1	52.9±3.4

的活性成分,如山奈酚、高纯度槲皮素等。

最大摄氧量的提升可能与紫苏叶总黄酮中山奈酚、槲皮素等成分改善线粒体功能、增强氧利用效率有关。其抗氧化作用可减少运动诱导的线粒体氧化损伤,维持有氧代谢酶活性,从而提高氧气摄取与利用能力,支持更长时间的高强度运动。

2.3 对青少年运动员血清 LA、BUN、CK 水平的影响

AB-8 大孔树脂组中以液料比 50:1 (mL/g)(第 3 组)的力竭时间和最大摄氧量最优,色谱分离组中亦以液料比 50:1 (mL/g)(第 7 组)效果最佳,故选取对照组、第 3 组和第 7 组进行后续生化指标检测。参与的男性田径项目青少年运动员的血清 LA、BUN、肌酸激酶(CK)水平测试结果如图 1~图 3 所示。

2.3.1 对血清 LA 水平的影响 由图 1 可知,与对照组相比,总黄酮服用组的血清 LA 水平显著降低。表明紫苏叶总黄酮能够有效抑制运动后乳酸的堆积,加速乳酸清除。已有研究^[3]证实,黄酮类化合物可通过增强乳酸脱氢酶活性,促进乳酸向丙酮酸转化,进而进入三羧酸循环供能。此外,紫苏叶总黄酮的强抗氧化活性可减轻运动引起的局部组织缺氧与酸中毒,改善代谢微环境,从而延缓乳酸生成速率^[9]。需要指出的是,目前尚缺乏直接证据表明紫苏叶总黄酮能上调肝脏糖异生关键酶的表达,因此,推测其可能通过促进乳酸在肝脏中的糖异生过程来进一步降低血乳酸水平,这一机制有待后续试验验证。

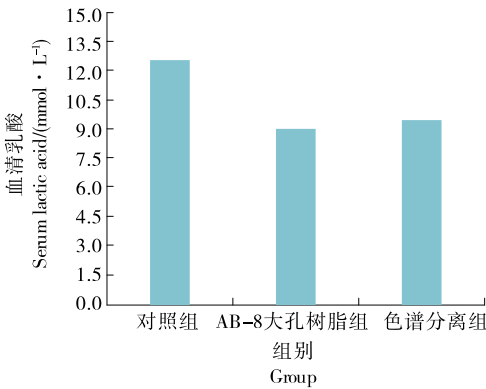


图 1 紫苏叶总黄酮对青少年运动员血清 LA 水平的影响
Figure 1 Effect of total flavonoids from perilla leaves on serum LA levels in adolescent athletes (n=102)

2.3.2 对血清 BUN 水平的影响 由图 2 可知,总黄酮服用组的 BUN 水平较对照组显著降低了 17.4%,说明紫苏叶总黄酮可有效抑制运动后蛋白质的过度分解,维持机体氮平衡。其机制可能与黄酮类化合物抑制运动诱导的炎症反应和氧化应激有关。一方面,活性氧可激活泛素—蛋白酶体通路,加速肌肉蛋白降解;紫苏叶总黄酮通

过清除活性氧,减少该通路的异常活化^[10]。另一方面,推测紫苏叶总黄酮可能通过降低运动后皮质醇水平或提高胰岛素样生长因子-1浓度,从而抑制蛋白质分解代谢,但目前尚无直接试验证据支持。此外,BUN的降低也间接反映了肾脏代谢负担减轻,这与总黄酮的肾保护作用趋势一致。

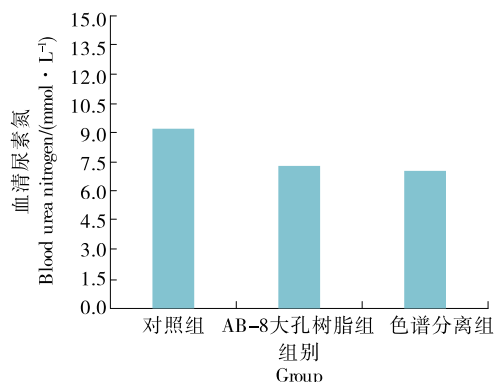


图2 紫苏叶总黄酮对青少年运动员BUN水平的影响

Figure 2 Effect of total flavonoids from perilla leaves on the blood urea nitrogen (BUN) levels of adolescent athletes ($n=102$)

2.3.3 对血清CK水平的影响 由图3可知,总黄酮服用组的CK水平较对照组显著降低,表明紫苏叶总黄酮能有效减轻运动诱导的肌肉细胞损伤,保护肌细胞膜完整性。CK是评估肌肉微损伤的敏感指标,其外漏减少意味着细胞膜通透性降低。文献[9]中的研究表明,黄酮类化合物(如木犀草素、槲皮素)可通过抑制脂质过氧化反应,稳定细胞膜磷脂双分子层结构,同时降低炎症因子的释放,从而减少溶酶体膜破裂和CK外泄。推测紫苏叶总黄酮还可能通过上调膜修复相关蛋白的表达来加速受损肌膜的重塑,但目前这一推测尚缺乏直接证据,需进一步通过分

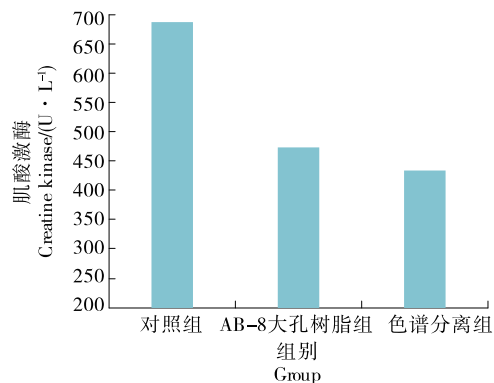


图3 紫苏叶总黄酮对青少年运动员CK水平的影响

Figure 3 Effect of total flavonoids from perilla leaves on the CK levels of adolescent athletes ($n=102$)

子生物学试验验证。

综上,紫苏叶总黄酮能显著延长青少年运动员力竭时间、提高最大摄氧量,并降低运动后血清LA、BUN及CK水平,提示其具有良好的抗疲劳功效。从机制上看,紫苏叶总黄酮富含木犀草素、芹菜素、山奈酚、槲皮素等黄酮类化合物,这些成分具有强抗氧化活性,可有效清除剧烈运动诱导产生的过量自由基,减轻脂质过氧化对细胞膜的损伤,从而维持肌细胞膜完整性,降低CK外漏;同时,抗氧化作用可保护线粒体功能,提高有氧代谢酶活性,促进乳酸清除,并抑制运动诱发的炎症反应,减少蛋白质分解,降低BUN水平。这一作用路径与引言所述“自由基损伤学说”高度吻合——即通过清除活性氧物种,阻断自由基对细胞结构的破坏,从而延缓中枢与外周疲劳的发生。

与已有研究相比,谢彬等^[3]通过小鼠试验证实紫苏叶总黄酮具有抗运动疲劳活性,该研究在青少年运动员群体中进一步验证了其效果,且力竭时间延长28%、CK降低24.3%等变化幅度与动物试验的效应趋势一致,但因物种差异难以直接比较绝对值。

从生理学意义看,最大摄氧量提高9.1%具有显著实践价值。在运动科学中,系统训练通常可使最大摄氧量提升5%~15%,而通过营养干预获得近10%的增长,意味着青少年运动员有氧耐力显著增强,可支持更长时间的高强度训练与比赛,提升竞技表现。

3 结论

紫苏叶总黄酮能显著延长力竭时间、提高最大摄氧量,并有效降低运动后血清乳酸、尿素氮及肌酸激酶水平,说明其具有抑制乳酸堆积、减轻蛋白质分解和保护肌肉细胞的作用。在提取工艺中,液料比为50:1 (mL/g)时效果最佳;在纯化方法上,色谱分离法较AB-8大孔树脂更能保留抗疲劳活性成分。综上所述,紫苏叶总黄酮可作为安全有效的天然运动营养补充剂,有助于提升青少年运动员的抗疲劳能力与运动恢复效率。

该研究也存在一定局限性:样本量相对较小,干预周期仅8周,未考察长期服用效果及潜在副作用;未深入解析具体黄酮单体的分子作用机制。未来应开展多中心、大样本长期随访研究,并结合组学技术,从基因与蛋白水平揭示其抗疲劳通路,为精准营养干预提供科学支撑。

参考文献

- [1] 孟庆霖, 褚齐, 宋健, 等. 紫苏叶总黄酮对APAP诱导的急性肝损伤的保护作用[J]. 食品工业科技, 2024, 45(14): 344-351.
- Meng Q L, Chu Q, Song J, et al. Protective effect of total

- favonoids of perilla frutescens on APAP induced acute liver injury[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(14): 344-351.
- [2] 关利, 魏文志, 虞丹丹, 等. 不同品种紫苏汁的生物活性成分及抗氧化性研究[J]. 中国调味品, 2024, 49(11): 42-47.
- Guan L, Wei W Z, Yu D D, et al. Study on bioactive components and antioxidant activity of different varieties of perilla frutescens juice[J]. China Condiment, 2024, 49(11): 42-47.
- [3] 谢彬, 张红静, 冯志强, 等. 超声波辅助提取紫苏叶中总黄酮及其抗运动疲劳活性的研究[J]. 饲料研究, 2024, 47(5): 66-71.
- Xie B, Zhang H J, Feng Z Q, et al. Study on ultrasonic assisted extraction of total flavonoids from perilla frutescens leaves and its anti-exercise fatigue activity[J]. Feed Research, 2024, 47(5): 66-71.
- [4] 徐源, 杨立军, 李冰洁, 等. 超声辅助双水相提取紫苏叶总黄酮工艺优化及其抗氧化活性分析[J]. 粮食与油脂, 2025, 38(2): 158-162.
- Xu Y, Yang L J, Li B J, et al. Optimization of extraction process of total flavonoids from *Perilla frutescens* L. leaves by ultrasonic-assisted aqueous two-phase extraction and analysis of its antioxidant activity[J]. Cereals & Oils, 2025, 38(2): 158-162.
- [5] 王琪瑶, 张艳蕾, 龚张斌, 等. 紫苏叶抗急性肝损伤活性组分筛选及机制研究[J]. 中成药, 2023, 45(12): 4 119-4 124.
- Wang Q Y, Zhang Y L, Gong Z B, et al. Screening and mechanism study of active components in perilla leaves for anti-acute liver injury effects[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2023, 45(12): 4 119-4 124.
- [6] 许梦璐, 许景开, 邱磊, 等. 紫苏叶总黄酮提取工艺优化及抗菌抗氧化研究[J]. 北方农业学报, 2025, 53(3): 93-103.
- Xu M L, Xu J K, Qiu L, et al. Study on the optimization of extraction process and antibacterial and antioxidant activities of perilla leaf total flavonoids[J]. Journal of Northern Agriculture, 2025, 53(3): 93-103.
- [7] 尹丽, 孟学林. 正交试验法优化紫苏叶中总黄酮提取工艺及体外抗氧化活性研究[J]. 饲料研究, 2024, 47(4): 99-103.
- Yin L, Meng X L. Optimization of extraction process and study of in vitro antioxidant activity of total flavonoids from *Perilla frutescens* leaves by orthogonal test[J]. Feed Research, 2024, 47(4): 99-103.
- [8] 马嘉洁, 赵端端, 全世航, 等. 紫苏叶黄酮、多酚提取工艺优化及不同品种抗氧化活性比较[J]. 食品工业科技, 2023, 44(12): 344-352.
- Ma J J, Zhao D D, Quan S H, et al. Optimization of extraction process of flavonoids and polyphenols from *Perilla frutescens* (L.) britt leaves and comparison of antioxidant activities of different varieties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(12): 344-352.
- [9] 刘明润, 毛立科, 袁芳, 等. 运动性疲劳机制及抗疲劳天然产物研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2025, 36(5): 148-157.
- Liu M R, Mao L K, Yuan F, et al. Research progress on mechanisms of exercise fatigue and anti-fatigue natural products [J]. China Food Additives, 2025, 36(5): 148-157.
- [10] 王贝, 葛娅娅. 响应面法优化紫苏叶总黄酮提取工艺[J]. 中国饲料, 2023(18): 28-32.
- Wang B, Ge Y Y. Optimize of extraction process from perilla leaves by response surface methodology[J]. China Feed, 2023(18): 28-32.