

邹志睿,朱和平,吴廉卿,等.湖北杂交枸杞浓浆饮料的营养品质及抗疲劳功效研究[J].华中农业大学学报,2024,43(6):316-324.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.06.031

湖北杂交枸杞浓浆饮料的营养品质及抗疲劳功效研究

邹志睿¹,朱和平²,吴廉卿¹,杨心彪³

1. 武汉体育学院,武汉 430079;

2. 湖北枸杞珍酒业有限公司,建始 445300;

3. 华中农业大学食品科学技术学院/环境食品学教育部重点实验室,武汉 430070

摘要 为探究湖北杂交枸杞浓浆饮料的营养品质与缓解运动疲劳的功效,以湖北杂交枸杞为原料制备枸杞浓浆饮料,并与市售北方枸杞浓浆饮料对比,分析其理化成分特性和抗氧化能力;动物实验中,测定用不同剂量(4、8、12 mL/kg)枸杞浓浆饮料灌胃后小鼠的负重游泳力竭时间,以及运动后肝糖原(liver glycogen, LG)、肌糖原(muscle glycogen, MG)、血乳酸(blood lactic acid, BLA)、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量,超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和谷胱甘肽还原酶(glutathione reductase, GR)的活性,并与空白组的各项指标进行对比。结果显示,湖北杂交枸杞浓浆饮料含酚类(175.44 $\mu\text{g/g}$)、黄酮(98.91 $\mu\text{g/g}$)、蛋白质(1.90 mg/g)、甜菜碱(0.30 mg/mL)和Se(1.59 $\mu\text{g/kg}$)等活性物质,其含量均高于市售枸杞浓浆饮料,并具有较好的抗氧化活性。湖北杂交枸杞浓浆饮料的中、高剂量组(8、12 mL/kg)可以有效延长小鼠的负重游泳时间,对缓解小鼠运动疲劳效果均有显著提高($P<0.05$),分别是空白组的1.66和2.10倍,且高剂量组(12 mL/kg)是市售枸杞浓浆饮料组的1.32倍,差异显著($P<0.05$);运动后湖北杂交枸杞浓浆饮料高剂量组小鼠的MG、LG含量相较空白组分别提高47.03%、116.22%,并且BLA、BUN、MDA含量均显著下降($P<0.05$),SOD和GR活性均显著增加($P<0.05$)。结果表明,湖北杂交枸杞浓浆饮料含有丰富的营养物质,具有良好的抗氧化活性和较好的抗疲劳效果,为湖北杂交枸杞功能性食品开发提供了新思路。

关键词 湖北杂交枸杞; 抗疲劳; 负重游泳; 肝糖原; 血尿素氮; 运动饮料

中图分类号 TS255.44 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)06-0316-09

枸杞(*Lycium barbarum*),主要分布于我国西北和华北等地区,尤以宁夏、新疆和青海等地种植最为普遍,是药食同源的营养保健型食品 and 传统中药材^[1]。枸杞果实为鲜亮的椭球状浆果,含有多种功能成分^[2]。现代药理学研究表明,枸杞富含多糖、甜菜碱、类胡萝卜素、黄酮、多种氨基酸以及微量元素等成分,具有抑菌、抗诱变、降血脂、降血糖、抗衰老和抗疲劳等多种功能活性^[3-5]。

湖北杂交枸杞是通过先将宁夏枸杞诱导加倍,再与华夏枸杞(湖北当地野生枸杞)杂交后成功选育,于1987年定型并通过科技成果鉴定^[3]。近年来,湖北省建始县枸杞种植面积已近467 hm^2 ,年产鲜果1000余^[6],是当地重要的经济作物,同时也是当地乡村振兴的重要产业之一。研究表明,湖北杂交枸

杞的药用成分符合我国药典的标准要求,其营养成分与宁夏枸杞基本持平^[3]。

目前,国内外涌现出众多以枸杞为原料开发的相关产品,主要针对中老年、青少年、办公族和运动族等不同群体。由于湖北杂交枸杞鲜果的水分含量高,高达90%以上,高水分含量导致加工干燥时间延长、干燥温度升高,干制时容易破裂,内容物流出,不易加工成“枸杞子”制品,最终导致产品质量下降和能源消耗增加等问题。相较于加工成干果,将枸杞加工为浓浆饮料的方式不仅可以较好地保留枸杞的色香味及营养成分,还具有即饮、便携的特点,已成为新型枸杞消费市场的主体产品。因此,将湖北杂交枸杞加工成枸杞浓浆饮料并探究其健康效应是高质量发展的有益探索。

收稿日期:2024-01-03

基金项目:湖北省技术创新专项-民族专项(2017AKB074);中央预算内投资国家服务业发展引导资金项目(鄂发改投资[207]296号)

邹志睿, E-mail:1781039340@qq.com

通信作者:杨心彪, E-mail:1826881734@qq.com

健康运动的兴起使得运动疲劳恢复成为一大需求。疲劳是由于长时间运动导致机体工作能力短暂下降、能量供应短缺、代谢产物积聚和氧化应激作用等因素引发的一种生理现象,会削弱身体的运动能力,同时降低免疫能力、肌肉功能和神经系统的稳定^[7]。长期疲劳会引发急性循环器官疾病(如脑血管疾病和心血管疾病)^[8-9],甚至致命症状。现代营养学研究认为,具有抗氧化活性的物质能改善细胞代谢,恢复失调的内环境,从而延缓或消除疲劳^[7]。为缓解疲劳,目前常用的解决办法是使用提取物、化学药物和氨基酸等营养补充剂^[10-12],但皆存在一定的局限性。随着人们健康意识的逐渐加强,人们更喜欢通过膳食摄入富含天然活性成分食物的方法去缓解运动疲劳。枸杞浓浆饮料凭借其丰富的营养价值和传统的养生功效,有望成为缓解运动疲劳的理想选择。当前关于枸杞饮料的研究主要聚焦于以我国北方枸杞为原料的产品加工工艺优化及营养品质分析方面^[13-15],而以湖北杂交枸杞鲜果为原料展开的加工工艺和生理活性评价的研究鲜有报道。

本研究以湖北杂交枸杞为研究对象,制备枸杞浓浆饮料,并与市售北方枸杞为原料的浓浆饮料进行比较,分析其营养品质以及抗疲劳功效,旨在为湖北杂交枸杞高质化加工产品的开发提供参考依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

SPF级昆明种小鼠80只,雄性,体质量(20±2)g,河南斯克贝斯生物科技股份有限公司,实验动物

许可证号:SCXK(豫)2020-0005,实验伦理审查编号:HZAUMO-2024-0069。在试验期间,所有小鼠均在标准实验室条件(温度:20~26℃,湿度:40%~70%,12h光/暗循环)下饲养,自由饮食。

湖北杂交枸杞鲜果,湖北枸杞珍酒业有限公司;红牛饮料,北京红牛维他命饮料有限公司;市售枸杞饮料(100%原果浆;原料产地:宁夏),网上某商城采购;甜菜碱标品、没食子酸、芦丁、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS),1,1-二苯基苦基苯肼(DPPH),上海源叶生物科技有限公司;甲醇、乙腈,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;肝糖原(liver glycogen, LG)、肌糖原(muscle glycogen, MG)、血乳酸(blood lactic acid, BLA)、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和谷胱甘肽还原酶(glutathione reductase, GR)试剂盒,南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

JYL-Y32高速破壁调理机,九阳电器有限公司;AH-MINI PLUS大流量均质机,多宁生物有限公司;ATY-244电子分析天平,日本岛津;Multiskan Sky全波长酶标仪,赛默飞世尔科技有限公司;UltiMate 3000 UHPLC液相色谱(二级阵列检测器),Thermo Fisher Scientific;Aglient7800型电感耦合等离子体质谱仪,美国安捷伦科技有限公司;Allegra X-15R低温高速离心机,美国Beckman Coulter有限公司;HH-2恒温水浴锅,国华电器有限公司。

1.3 枸杞浓浆饮料的制备

湖北枸杞浓浆饮料的制备流程如图1所示。

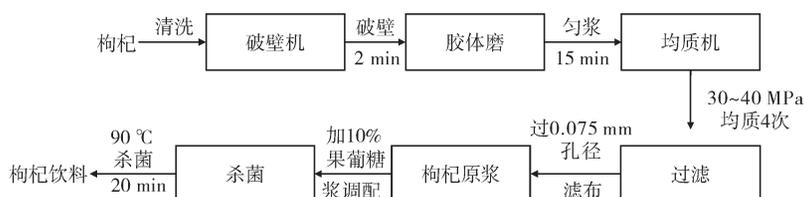


图1 枸杞浓浆饮料的生产工艺流程

Fig.1 Production process of Wolfberry thick pulp beverage

1.4 枸杞浓浆饮料主要营养成分的测定

总酚、类黄酮和类胡萝卜素含量的测定参照文献^[16]。可溶性糖、还原糖、可溶性蛋白含量的测定参照文献^[17]。枸杞多糖的含量测定参考GB/T 18672—2014《枸杞》中附录A分光光度法。甜菜碱的提取参照文献^[18]。矿物质元素的测定参考GB 5009.268—2016《食品中多元素的测定》中第一法,采

用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定Na、K、Se、Mg、As、Pb的含量。

1.5 体外抗氧化活性的测定

DPPH和ABTS自由基清除能力的测定参照范亦菲等^[19]的方法。

1.6 动物实验分组及给药剂量

适应性饲养7d后,通过小鼠游泳实验剔除掉游

泳姿势不正常的小鼠,剩余小鼠随机分为6组,每组10只。6组分别为空白对照组(Con),湖北杂交枸杞浓浆饮料低剂量组(L)、中剂量组(M)、高剂量组(H),市售枸杞浓浆饮料高剂量组(S)和阳性对照组(P),其中P组为红牛饮料。

灌胃剂量参照曹茸茸等^[20]的方法,结合枸杞浓浆饮料的每日推荐用量稍作修改,红牛饮料组剂量设为12 mL/kg,枸杞浓浆饮料低、中、高剂量组剂量分别为4、8、12 mL/kg,空白对照组按12 mL/kg的剂量给予蒸馏水。灌胃期间,小鼠自由摄食、饮水,试验周期为31 d。

1.7 负重游泳实验

在灌胃期间,小鼠每周进行无负重游泳训练2次,每次30 min。在实验的第28天,灌胃后30 min,在每只小鼠尾根部负荷5%体质量的铅丝,放入装有(30±3)℃温水、水深30 cm的游泳箱中进行负重游泳。自小鼠入水开始计时,不时搅动水,使小鼠保持四肢运动。直至小鼠头部沉入水中,经7 s仍不能浮起为力竭终点^[21],记录每组小鼠游泳体力耗尽时间。

1.8 抗疲劳生化指标测定

经过负重游泳实验后,将小鼠用吹风机吹干并休息2 d后再进行无负重游泳40 min,水温(30±3)℃,将小鼠从水槽中捞出并吹干,休息30 min后取血处死,并取肝脏和腓肠肌,用生理盐水洗净并用滤纸吸干,用试剂盒检测LG、MG、BUN、BLA含量^[22]。

1.9 数据处理

设置3次平行试验,采用Excel 2016对数据进行统计分析,结果以“平均值±标准差”表示。采用SPSS 26.0软件进行统计学显著性分析,GraphPad Prism6进行绘图。多组间比较采用单因素方差分析(ANOVA),在 $\alpha=0.05$ 水平进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同枸杞浓浆饮料的营养品质对比

湖北杂交枸杞浓浆饮料与市售枸杞浓浆饮料的营养品质测定结果见表1。由表1可见,湖北杂交枸杞浓浆饮料与市售枸杞浓浆饮料都呈弱酸性,市售枸杞浓浆饮料含有较高的可溶性固形物、可溶性糖、还原糖、粗多糖和胡萝卜素,而湖北杂交枸杞浓浆饮料含有较多的酚类、黄酮、蛋白质和甜菜碱等活性物质。

2.2 不同枸杞浓浆饮料的抗氧化活性与微量元素对比

由表2可知,湖北杂交枸杞浓浆饮料的DPPH清

表1 湖北杂交枸杞浓浆饮料与市售枸杞浓浆饮料营养品质分析

Table 1 Analysis of nutritional quality indexes of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage and wolfberry thick pulp beverage on the market

指标 Indicators	湖北杂交枸杞浓浆饮料 Hubei hybrid <i>Lycium barbarum</i> thick pulp beverage	市售枸杞浓浆饮料 Wolfberry thick pulp beverage on the market
pH	4.89±0.02a	4.57±0.02b
可溶性固形物/% Soluble solids	13.67±0.29b	18.33±0.29a
可溶性糖/% Soluble sugar	7.28±0.24b	8.44±0.14a
还原糖/% Reducing sugar	2.78±0.07b	4.03±0.12a
总酚/(μg/g) Total phenol	175.44±4.35a	154.72±3.04b
总黄酮/(μg/g) Total flavonoids	98.91±0.39a	89.89±0.50b
蛋白质/(mg/g) Protein	1.90±0.01a	1.20±0.02b
甜菜碱/(mg/g) Betaine	0.30±0.01a	0.20±0.01b
总类胡萝卜素/(mg/kg) Total carotenoids	0.38±0.02b	0.76±0.03a
粗多糖/% Crude polysaccharide	0.80±0.00b	1.20±0.01a

注:同行中标注的不同字母表示存在显著性差异($P<0.05$)。下同。Note: Different letters labelled in the same row indicate that there are significant difference($P<0.05$). The same as below.

除率为61.72%、ABTS清除率为81.34%,分别是市售枸杞浓浆饮料的1.06、1.09倍。由微量元素测定结果可知,湖北杂交枸杞浓浆饮料的Se含量为1.59 μg/kg,约是市售枸杞浓浆饮料的2倍。Pb和As含量符合NY/T1051—2014《绿色食品 枸杞及枸杞制品 农业行业标准》污染物的限量要求。综上可知,湖北杂交枸杞浓浆饮料具有较好的抗氧化活性,且含有微量的Se元素。

2.3 灌胃不同枸杞浓浆饮料后小鼠肝体比指标的对比

如图2所示,试验期间,所有小鼠总体情况正常,存活率为100%。各组小鼠的肝脏质量与体质量的比值无显著差异($P>0.05$)。在正常生理状态下,各器官与体质量的比值保持相对稳定。

2.4 灌胃不同枸杞浓浆饮料后运动疲劳小鼠力竭游泳时间的对比

由图3可知,与空白组的负重游泳力竭时间

表 2 湖北杂交枸杞浓浆饮料与市售枸杞浓浆饮料的抗氧化活性与微量元素含量对比

Table 2 Comparison of antioxidant activity and trace element content of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage and wolfberry thick pulp beverage on the market

指标 Indicators	湖北杂交枸杞浓浆饮料 Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage	市售枸杞浓浆饮料 Wolfberry thick pulp bev- erage on the market
DPPH/%	61.72±1.05a	58.27±0.96b
ABTS/%	81.34±0.53a	74.44±0.23b
Se/(μg/kg)	1.59±0.22a	0.68±0.03b
Na/(mg/kg)	0.55±0.03b	1.94±0.49a
K/(mg/kg)	141.67±6.61b	162.99±7.75a
Pb/(μg/kg)	2.00±0.43	2.34±0.30
Ni/(μg/kg)	11.42±2.16b	24.29±1.10a
Mg/(mg/kg)	17.78±5.18b	30.36±2.23a
As/(mg/kg)	—	—

注：“—”表示低于检出限或未检出。Note：“—” indicates below detection limit or not detected.

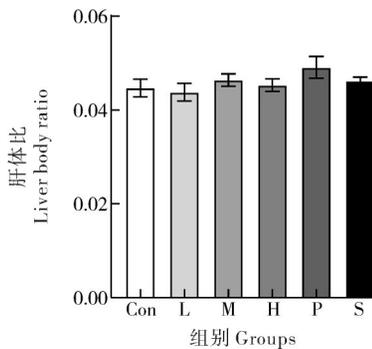


图 2 湖北杂交枸杞浓浆饮料对小鼠肝体比的影响

Fig.2 Effect of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage on liver body ratio in mice

363.44 s 相比,红牛阳性对照组小鼠的负重游泳力竭时间为 531.00 s,显著提高了 46.10% ($P < 0.05$)。湖北杂交枸杞浓浆饮料中、高剂量组和市售枸杞浓浆饮料高剂量组的负重游泳力竭时间分别为 601.70、763.43、556.43 s,与空白组相比分别提高了 65.56%、

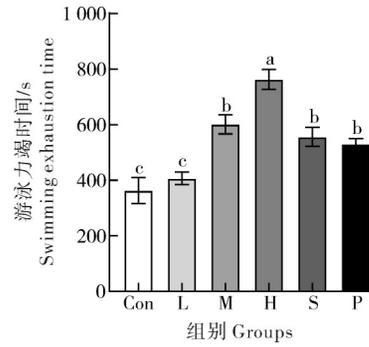


图 3 湖北杂交枸杞浓浆饮料对小鼠负重游泳力竭时间的影响

Fig.3 Effect of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage on weight bearing swimming exhaustion time in mice

110% 和 53.10%,且具有显著性差异 ($P < 0.05$)。结合图 2B 的结果可知,枸杞浓浆饮料有效延长了小鼠的负重游泳时间,提升了小鼠的抗疲劳能力,且湖北杂交枸杞浓浆饮料高剂量组延长时间是市售枸杞浓浆饮料高剂量组的 1.37 倍。结果表明,在本试验条件下,湖北杂交枸杞浓浆饮料的抗疲劳效果更优。

2.5 灌胃不同枸杞浓浆饮料后运动疲劳小鼠肌糖原和肝糖原的对比

由图 4 可知,连续灌胃 28 d 后,阳性对照组小鼠的肌糖原和肝糖原分别为 0.67、0.98 mg/g,与空白组相比显著提高 ($P < 0.05$)。而湖北杂交枸杞浓浆饮料高剂量组小鼠的肌糖原和肝糖原含量分别为 0.81、1.53 mg/g,显著高于阳性对照组 ($P < 0.05$)。与空白对照组相比,湖北杂交枸杞浓浆饮料高剂量肌糖原、肝糖原含量分别提高 47.03%、116.22%。结果表明,湖北杂交枸杞浓浆饮料可以有效提高运动小鼠肝糖原和肌糖原的积累,进而提高机体的能量供给,且其效果要优于市售枸杞产品及阳性对照组。

2.6 灌胃不同枸杞浓浆饮料后运动疲劳小鼠 BLA 和 BUN 水平的对比

如图 5A 所示,恢复 30 min 后,湖北杂交枸杞浓浆饮料中、高剂量与阳性对照组的 BLA 浓度分别为 9.72、9.25、9.53 mmol/L,与空白组 (11.50 mmol/L) 相比,差异显著 ($P < 0.05$)。如图 5B 所示,灌胃 28 d 后,枸杞浓浆饮料组与阳性对照组中 BUN 水平均显著低于空白对照组 ($P < 0.05$)。同时,湖北杂交枸杞浓浆饮料高剂量组 BUN 水平 (1.63 mmol/L) 显著低于市售枸杞浓浆饮料组 (2.17 mmol/L) ($P < 0.05$)。结果表明,枸杞浓浆饮料能够有效促进运动后小鼠体内的乳酸分解,并减少 BUN 在体内的分解代谢,

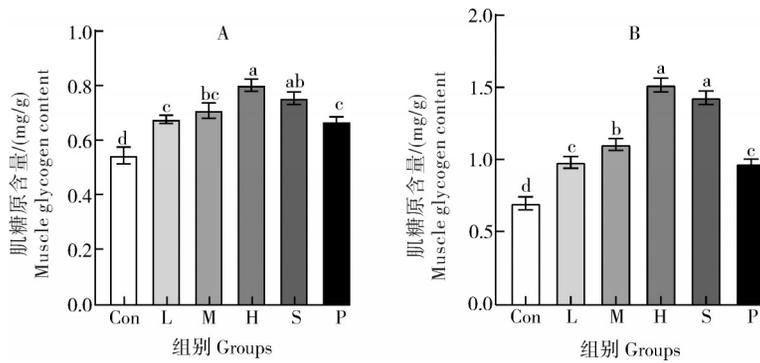


图4 湖北杂交枸杞浓浆饮料对运动疲劳小鼠肌糖原(A)和肝糖原(B)的影响

Fig.4 Effects of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage on muscle glycogen (A) and liver glycogen(B) in exercise-fatigued mice

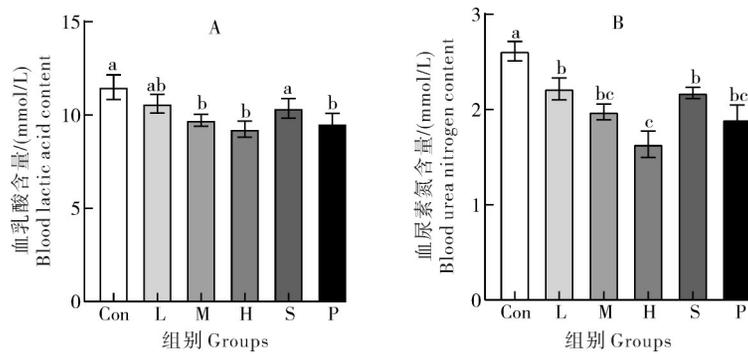


图5 湖北杂交枸杞浓浆饮料对运动疲劳小鼠血乳酸(A)和血尿素氮(B)的影响

Fig.5 Effects of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage on blood lactate (A) and blood urea nitrogen (B) in exercise-fatigued mice

从而达到延缓疲劳的效果,在同等剂量条件下,湖北杂交枸杞浓浆饮料的效果优于市售枸杞浓浆饮料。

2.7 灌胃不同枸杞浓浆饮料后运动疲劳小鼠MDA水平的对比

由图6可知,与对照组相比,湖北杂交枸杞浓浆饮料低、中、高剂量组和市售枸杞浓浆饮料组以及阳性对照组都可以明显降低血清中MDA的含量,下降率分别为22.64%、36.93%、48.79%、43.79%、31.50%,而且中、高剂量组和市售枸杞浓浆饮料组的

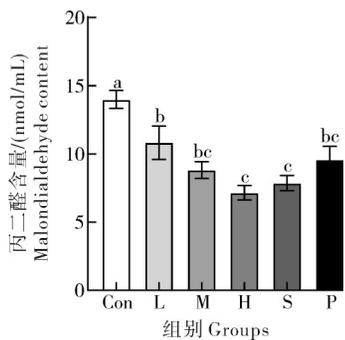


图6 湖北杂交枸杞浓浆饮料对运动疲劳小鼠MDA的影响

Fig.6 Effects of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage on MDA in exercise-fatigued mice

降低效果要优于阳性对照组。结果表明,湖北杂交枸杞浓浆饮料具有良好的抗氧化效果,有助于清除小鼠体内的自由基,阻止MDA的生成,减轻细胞的氧化损伤程度,发挥抗疲劳作用。

2.8 灌胃不同枸杞浓浆饮料后运动疲劳小鼠的SOD水平的对比

由图7可知,与对照组相比,湖北杂交枸杞浓浆饮料低、中、高剂量组和市售枸杞浓浆饮料组以及阳性对照组都可以明显提高血清中SOD的活性,其中

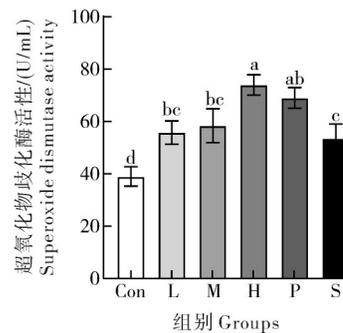


图7 湖北杂交枸杞浓浆饮料对运动疲劳小鼠SOD的影响

Fig.7 Effects of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage on SOD in exercise-fatigued mice

高剂量湖北杂交枸杞浓浆饮料与市售枸杞浓浆饮料组 SOD 活性分别为 73.99、68.98 U/mL,与空白组 (38.97 U/mL) 相比,分别提高了 89.86%、77.00%。结果表明,枸杞浓浆饮料能增加小鼠体内 SOD 活性,且同等剂量下,湖北杂交枸杞浓浆饮料效果要优于市售枸杞浓浆饮料。

2.9 灌胃不同枸杞浓浆饮料后运动疲劳小鼠的 GR 水平的对比

由图 8 可见,湖北杂交枸杞浓浆饮料的低、中、高剂量组和市售枸杞浓浆饮料组以及阳性对照组的小鼠血清 GR 活性分别为 21.65、23.48、29.29、24.41、18.65 U/L,与空白组 (14.49 U/L) 对比,均显著提高 ($P < 0.05$)。结合图 5C 的结果,表明湖北杂交枸杞浓浆饮料有利于维持红细胞膜的完整性,防止血红蛋白的氧化,减少细胞的氧化损伤,增加抗疲劳效果。

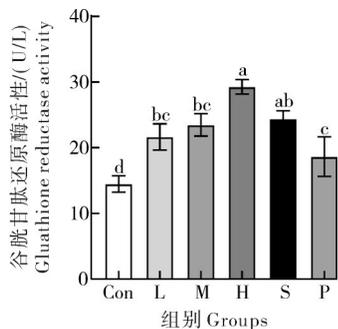


图 8 湖北杂交枸杞浓浆饮料对运动疲劳小鼠 GR 的影响
Fig.8 Effects of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage on GR in exercise-fatigued mice

3 讨论

湖北杂交枸杞作为建始县乡村振兴的支柱产业,在经济与社会层面的贡献不容小觑。然而,目前围绕湖北杂交枸杞精深加工方面的研究相对匮乏,通过适度加工,将其融入到大健康产业中可能是推动其加工转化的有益尝试。因此,制备湖北杂交枸杞浓浆饮料,在分析其营养成分的基础上,采用动物模型,科学评估其缓解运动疲劳的效果,可为此类产品的研发提供科学依据。

负重游泳实验是一种被广泛应用的运动模型实验方法,通过迫使小鼠游泳,直至其精疲力竭,观察游泳时间的变化从而评估小鼠的耐疲劳能力是否得到提升^[23]。本试验中,湖北杂交枸杞浓浆饮料中、高剂量组和市售枸杞浓浆饮料高剂量组的负重游泳力竭时间与空白组相比都有显著提高 ($P < 0.05$),这可能与枸杞浓浆饮料中含有酚类、黄酮、甜菜碱和多糖

等具有抗疲劳作用的活性成分相关。酚类化合物作为植物中重要的次生代谢物,是天然抗氧化剂的主要来源,可通过减少机体自由基过度积累表现出良好的抗疲劳活性,与多糖延缓疲劳的作用机制相似^[24];甜菜碱等生物碱类化合物不仅可以促进骨骼肌利用葡萄糖、乳酸和脂肪酸等产能作用,还能通过增加肝糖原含量等方式来增强耐力^[25-26];而蛋白质在体内经酶或酸的作用下生成活性肽,具有更易消化、吸收和利用的特点,可以完整的形式经小肠吸收后进入循环系统,为机体提供营养和能量^[27]。

运动过程中,肌肉需要大量的能量来维持运动。当体内的糖原、脂肪和蛋白质等能源物质消耗殆尽,尤其是肌肉和肝脏中的糖原储备减少时,供能不足会导致疲劳,糖原是短时间内高强度运动的主要能源,糖原的耗竭与运动性疲劳密切相关^[28]。与空白对照组相比,湖北杂交枸杞浓浆饮料高剂量肌糖原、肝糖原含量显著提高,这可能与枸杞浓浆饮料含有丰富的酚类等生物活性物质从而具有较高的抗氧化活性有关,其在清除超氧阴离子自由基的同时,可修复运动氧化过激造成的肝细胞损伤,并能够阻止细胞中产生氧化性更强的氧化自由基,进而提高体内肌糖原与肝糖原的含量,促进 ATP 合成,增加能量供应^[29]。运动性疲劳主要由氧化应激、产能不足及体内酶的相互作用引起。剧烈运动导致自由基积累,引发氧化应激,损伤细胞膜、蛋白质和 DNA,削弱体内抗氧化酶的活性,进一步加重疲劳。MDA 是脂质过氧化的主要副产物,也是细胞氧化损伤的重要指标,较低的 MDA 含量表明机体内抗氧化活性的提高^[30]。本研究中,湖北杂交枸杞浓浆饮料的 Se 含量为 1.59 $\mu\text{g}/\text{kg}$,约是市售枸杞浓浆饮料的 2 倍。硒元素摄入体内后能够参与体内抗氧化物酶的合成,提高机体抗氧化物酶的活性,降低脂质过氧化产物的浓度,从而缓解疲劳^[31-32],这可能也是湖北杂交枸杞浓浆饮料具有抗氧化、缓解运动疲劳作用的原因之一。

在剧烈运动过程中,体内的代谢产物如 BLA、BUN 等会大量积累。尤其是在无氧运动时,BLA 增多,导致体内酸碱平衡失调,BLA 含量的增加会影响循环系统和骨骼肌系统功能,导致肌肉运动能力下降,从而引起疲劳感^[33]。此外,BUN 作为蛋白质分解的代谢产物,水平的升高也与运动负荷密切相关,在运动过程中,蛋白质和氨基酸的分解代谢加强,导致 BUN 含量增加,机体对负荷的适应性越差^[33-34]。

机体内酶的活性与疲劳的关系密切,SOD在清除自由基及其代谢产物以及维持正常的细胞生理机能,促进免疫力和预防各种疾病方面起着至关重要的作用,其酶活力的高低可以间接反映机体清除氧自由基的能力^[35]。此外,GR是由辅酶NADPH提供氢气催化谷胱甘肽的氧化和还原型谷胱甘肽的形成,还原型谷胱甘肽可以使含巯基的酶保持还原和活性状态,因此,较高的GR水平与较强的SOD活性相关^[36]。枸杞浓浆饮料可以提高小鼠体内的GR活性,GR可以催化机体内氧化型谷胱甘肽还原成谷胱甘肽,谷胱甘肽进一步可以与氧自由基结合,清除机体内产生的氧合自由基,从而减少自由基对机体的侵害,增加抗疲劳效果^[30]。

综上,湖北杂交枸杞浓浆饮料的酚类、黄酮、蛋白质、甜菜碱和Se元素等活性物质更为丰富,具有更好的抗氧化活性,并能通过清除体内自由基,降低小鼠运动后血液中BLA、BUN和MDA含量,提高SOD、GR活性以及LG、MG储备量,每日饮用剂量为12 mL/kg时,延缓小鼠运动疲劳效果较好。

参考文献 References

- [1] 李静,余意,郭兰萍,等.枸杞子品质区划研究[J].中国中药杂志,2019,44(6):1156-1163.LI J, YU Y, GUO L P, et al. Study on quality regionalization of *Lycii fructus*[J].China journal of Chinese materia medica, 2019, 44(6): 1156-1163 (in Chinese with English abstract).
- [2] KULCZYNSKI B, GRAMZA-MICHALOWSKA A. Goji berry (*Lycium barbarum*): composition and health effects: a review[J].Polish journal of food and nutrition sciences, 2016, 66(2):67-75.
- [3] 戴凯书.湖北杂交枸杞及系列产品开发研究进展[J].湖北农学院学报,1994(3):77-80.DAI K S.Research progress on the development of Hubei hybrid wolfberry and series products[J].Journal of Hubei Agricultural College, 1994(3): 77-80(in Chinese).
- [4] 金治萃,贾彦彬,王陆一,等.中药枸杞子浸出液抑菌作用的实验研究[J].内蒙古医学杂志,1995(4):203-204.JING Z C, JIA Y B, WANG L Y, et al.Experimental study on the antibacterial effect of Chinese medicine *Lycium barbarum* leachate[J].Inner mongolia medical journal, 1995(4): 203-204(in Chinese).
- [5] 张雪燕,戴瑜婷,王艺璇,等.枸杞化学成分和药理作用研究进展及质量标志物(Q-Marker)的预测分析[J].中华中医药学刊,2024,42(1):174-183.ZHANG X Y, DAI Y T, WANG Y X, et al.Research progress of Gouqi(*Lycium barbarum*) and predictive analysis on its Q-Marker[J].Chinese archives of traditional Chinese, 2024, 42(1): 174-183(in Chinese with English abstract).
- [6] 黄宁馨,丁士勇,刘睿,等.主成分分析法优选枸杞乳酸菌发酵饮品发酵剂[J].农业工程学报,2021,37(7):286-292.HUANG N X, DING S Y, LIU R, et al.Optimizing lactic acid bacteria starter culture for wolfberry juice fermentation using principal component analysis[J].Transactions of the CSAE, 2021, 37(7):286-292(in Chinese with English abstract).
- [7] 蒋彤,王亚雯,李裕倩,等.苦荞低聚肽体外抗氧化活性及其对运动小鼠自由基代谢与疲劳恢复的影响[J].营养学报,2022,44(1):79-85.JIANG T, WANG Y W, LI Y Q, et al. Antioxidant capacity of tartary buckwheat oligopeptides and its effect on free radical metabolism and fatigue recovery in exercise training mice[J].Acta nutrimenta sinica, 2022, 44(1): 79-85(in Chinese with English abstract).
- [8] 魏颖,郭颖,李明亮,等.紫苏籽肽抗疲劳功效及其作用机理[J].中国食品学报,2021,21(7):157-162.WEI Y, GUO Y, LI M L, et al.Anti-fatigue activity and mechanisms of peptides derived from *Perilla frutescens* seeds[J].Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(7): 157-162 (in Chinese with English abstract).
- [9] 荣耀,白鑫明,迟明,等.高原谷物青稞对小鼠降糖、耐缺氧、抗疲劳功能活性的影响[J].中国食品学报,2023,23(7):207-216.RONG Y, BAI X M, CHI M, et al.Effects of highland barley on the activities of hypoglycemic, hypoxia tolerance and anti-fatigue in mice[J].Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(7): 207-216(in Chinese with English abstract).
- [10] 白海军,李志江.牛磺酸-水解大豆蛋白复合体系对运动性疲劳大鼠的影响[J].食品科学,2021,42(9):145-150.BAI H J, LI Z J.Effect of taurine-hydrolyzed soybean protein composite system on exercise-induced fatigue in rats[J].Food science, 2021, 42(9): 145-150(in Chinese with English abstract).
- [11] 侯兴琳,吴晓霞,兰莹,等.油橄榄提取物复配左旋肉碱酒石酸盐抗疲劳功能及安全性评价[J].食品科学技术学报,2021,39(4):104-115.HOU X L, WU X X, LAN Y, et al.Anti-fatigue function and safety assessment of olea europaea extract compounded with *L*-carnitine tartrate[J].Journal of food science and technology, 2021, 39(4): 104-115(in Chinese with English abstract).
- [12] ZHAO C Y, GONG Y R, ZHENG L, et al.The degree of hydrolysis and peptide profile affect the anti-fatigue activities of whey protein hydrolysates in promoting energy metabolism in exercise mice[J].Journal of agricultural and food chemistry, 2023, 71(6):3010-3021.
- [13] DUCRUET J, REBENAQUE P, DISERENS S, et al.Amber ale beer enriched with Goji berries: the effect on bioactive compound content and sensorial properties[J].Food chemistry, 2017, 226:109-118.
- [14] LIU B, XU Q, SUN Y.Black Goji berry (*Lycium ruthenicum*)

- tea has higher phytochemical contents and *in vitro* antioxidant properties than red Goji berry (*Lycium barbarum*) tea [J]. Food quality and safety, 2020, 4(4): 193-201.
- [15] WANG M Z, OUYANG X Y, LIU Y R, et al. Comparison of nutrients and microbial density in Goji berry juice during lactic acid fermentation using four lactic acid bacteria strains[J/OL]. Journal of food processing and preservation, 2021, 45(1): 15059[2024-01-03]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15059>.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000. LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000(in Chinese).
- [17] 王学奎, 黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2015. WANG X K, HUANG J L. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2015(in Chinese).
- [18] 王娜, 樊秋霞, 袁亚宏, 等. 雪莲菌发酵提高枸杞原浆甜菜碱含量的工艺优化及品质分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(2): 72-80. WANG N, FAN Q X, YUAN Y H, et al. Process optimization and quality analysis to increase the betaine content of wolfberry pulp through fermentation [J]. Modern food science and technology, 2024, 40(2): 72-80(in Chinese with English abstract).
- [19] 范亦菲, 郭琳, 靳文会, 等. 枸杞酸奶体外抗氧化活性和保肝功能研究[J]. 食品与生物技术学报, 2022, 41(4): 25-30. FAN Y F, GUO L, JIN W H, et al. Study on antioxidant activity *in vitro* and hepatoprotective function of *Lycium barbarum* yogurt[J]. Journal of food science and biotechnology, 2022, 41(4): 25-30(in Chinese with English abstract).
- [20] 曹茸茸, 杨晓磊, 孙敏, 等. 藏药黑果枸杞对运动疲劳小鼠的缓解作用[J]. 中国临床药理学杂志, 2017, 33(4): 351-354. CAO R R, YANG X L, SUN M, et al. Relieving effects of *Lycium ruthenicum* Murr on exercise fatigue in mice[J]. The Chinese journal of clinical pharmacology, 2017, 33(4): 351-354(in Chinese with English abstract).
- [21] 罗琼, 阎俊, 张声华. 枸杞多糖对小鼠抗疲劳作用的影响[J]. 湖北医科大学学报, 1999, 17(4): 265-269. LUO Q, YAN J, ZHANG S H. Effects of polysaccharides of *Lycium barbarum* on anti-fatigue effects in mice [J]. Medical journal of Wuhan University, 1999, 17(4): 265-269(in Chinese).
- [22] 胡馨予, 赵冰, 孙晓琪, 等. 枸杞子多糖抗疲劳活性研究[J]. 食品科技, 2015, 40(7): 197-200. HU X Y, ZHAO B, SHUN X Q, et al. Anti-fatigue action of *Lycium barbarum* polysaccharides in mice [J]. Food science and technology, 2015, 40(7): 197-200(in Chinese with English abstract).
- [23] ZHANG R X, ZHANG J T, LIU Y, et al. The effect of fermented wheat protein hydrolysate on the exercise performance in mice [J/OL]. Journal of functional foods, 2022, 97: 109217 [2024-01-03]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105217>.
- [24] 陈慧, 马璇, 曹丽行, 等. 运动疲劳机制及食源性抗疲劳活性成分研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(11): 247-258. CHEN H, MA X, CAO L X, et al. Recent progress in the mechanism behind exercise-induced fatigue and dietary bioactive components against fatigue [J]. Food science, 2020, 41(11): 247-258(in Chinese with English abstract).
- [25] KIM J S, LEE K P, LEE D W, et al. Piperine enhances carbohydrate/fat metabolism in skeletal muscle during acute exercise in mice [J/OL]. Nutrition & metabolism, 2017; 14 [2024-01-03]. <https://doi.org/10.1186/s12986-017-0194-2>.
- [26] HSU Y J, HUANG W C, CHIU C C, et al. Capsaicin supplementation reduces physical fatigue and improves exercise performance in mice [J/OL]. Nutrients, 2016, 8(10): 8100648 [2024-01-03]. <https://doi.org/10.3390/nu8100648>.
- [27] 杨少玲, 李来好. 抗疲劳肽的研究现状[J]. 湛江海洋大学学报(自然科学), 2006, 26(6): 77-82. YANG S L, LI L H. Current status of research on anti-fatigue peptides [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2006, 26(6): 77-82(in Chinese).
- [28] DING J F, LI Y Y, XU J J, et al. Study on effect of jellyfish collagen hydrolysate on anti-fatigue and anti-oxidation [J]. Food hydrocolloids, 2011, 25(5): 1350-1353.
- [29] 蔡宇, 于傲, 佟永清. 百香果皮酵素饮料研制及对运动耐力的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(10): 230-236. CAI N, YU A, TONG Y Q. Research on ferment beverage of *Passiflora edulis* peel and its effect on exercise endurance [J]. Food and fermentation industries, 2023, 49(10): 230-236(in Chinese with English abstract).
- [30] INAL M E, KANBAK G, SUNAL E. Antioxidant enzyme activities and malondialdehyde levels related to aging [J]. Clinica chimica acta, 2001, 305(1/2): 75-80.
- [31] 郭建军. 硒对不同训练状态小鼠抗氧化功能的影响[J]. 体育科学, 1999(3): 74-77. GUO J J. Influence of selenium on the antioxidant functions of mice in different exercise conditions [J]. China sport science, 1999(3): 74-77(in Chinese with English abstract).
- [32] 白海军. 富硒大豆低聚肽的制备及其抗疲劳功能的研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(3): 46-50. BAI H J. Preparation and anti-fatigue function of selenium-rich soybean oligopeptide [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(3): 46-50(in Chinese with English abstract).
- [33] WANG J J, MENG J S, K S L, et al. Effect of red mold rice on antifatigue and exercise-related changes in lipid peroxidation in endurance exercise [J]. Applied microbiology and biotechnology, 2006, 70(2): 247-253.
- [34] WANG L, ZHANG H L, LU R, et al. The decapeptide CMS001 enhances swimming endurance in mice [J]. Peptides, 2008, 29(7): 1176-1182.
- [35] SOZMEN E Y, SOZMEN B, GIRGIN F K, et al. Antioxidant enzymes and paraoxonase show a co-activity in preserving low-density lipoprotein from oxidation [J]. Clinical and experi-

mental medicine, 2001, 1(4): 195-199.
[36] CHARRIN E, FAES C, SOTIAUX A, et al. Receptor for advanced glycation end products antagonism blunts kidney dam-

age in transgenic townes sickle mice[J/OL]. *Frontiers in physiology*, 2019, 10: 880 [2024-01-03]. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00880>.

Nutritional quality and anti-fatigue effect of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage

ZOU Zhirui¹, ZHU Heping², WU Lianqing¹, YANG Xinbiao³

1. Wuhan Sports University, Wuhan 430079, China;

2. Hubei Goji Zhen Liquor Co., Ltd., Jianshi 445300, China;

3. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Environment Correlative Dietology, Ministry of Education, Wuhan 430070, China

Abstract Hubei hybrid wolfberry was used to study its nutritional quality and anti-fatigue effect and compare with that of the commercially available northern wolfberry as the raw material of the thick pulp beverage. The effects of Hubei hybrid wolfberry drink on relieving physical fatigue were investigated by analyzing its nutritional quality and determining the exhaustion time of swimming with a load in mice. In the animal experiments, the content of liver glycogen (LG), muscle glycogen (MG), blood lactic acid (BLA), blood urea nitrogen (BUN), malondialdehyde (MDA), superoxide dismutase (SOD), and glutathione reductase (GR) after exercise in mice after gavage of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage at different dosage (4, 8, 12 mL/kg) were determined and compared with that of the blank group. The results showed that active substances including phenolics 175.44 $\mu\text{g/g}$, flavonoids 98.91 $\mu\text{g/g}$, proteins 1.90 mg/g, betaine 0.30 mg/mL, and Se 1.59 $\mu\text{g/kg}$ in Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage were higher than that of commercially available wolfberry thick pulp beverage, and had better antioxidant activity. The results of animal experiments showed that the medium-dosage and high-dosage group (daily gavage at 8 and 12 mL/kg) of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage effectively prolonged the exhaustion time of swimming with a load in mice, and both of them significantly improved the anti-fatigue effect on mice ($P < 0.05$), 1.66 times and 2.10 times more than that in the blank group. The high-dosage group (daily gavage at 12 mL/kg) was 1.32 times higher than that of the commercially available commercially available wolfberry thick pulp beverage group, and the difference was significant ($P < 0.05$). After exercise, the content of MG and LG of mice in the high dosage group of Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage increased by 47.03% and 116.22% compared to the blank group, and the content of BLA, BUN, and MDA significantly decreased ($P < 0.05$), and the activity of SOD and GR significantly increased ($P < 0.05$), indicating that Hubei hybrid wolfberry thick pulp beverage has better anti-fatigue effect. It will provide a scientific basis for mining the health effect of Hubei hybrid wolfberry and a new idea for developing functional foods for people with exercise fatigue.

Keywords Hubei hybrid wolfberry; anti-fatigue; weight-bearing swimming; liver glycogen; blood urea nitrogen; sports drink

(责任编辑:赵琳琳)