

藜麦—蓝靛果复合汁发酵工艺及其上清液 抗氧化与抗疲劳作用研究

Fermentation technology and effects of antioxidant and anti-exercise
fatigue of quinoa haskap complex fermented supernatant

白海军¹ 庞惟俏² 张智慧² 王颖^{2,3}

BAI Haijun¹ PANG Weiqiao² ZHANG Zhihui² WANG Ying^{2,3}

(1. 黑龙江八一农垦大学体育教研部, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江八一农垦大学食品学院,

黑龙江 大庆 163319; 3. 国家杂粮工程技术中心, 黑龙江 大庆 163319)

(1. Department of Physical Education, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 2. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 3. National Coarse Cereals Engineering Center, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要: [目的] 优化藜麦—蓝靛果复合汁发酵工艺, 开发营养价值高的抗运动疲劳食品。 [方法] 以黑藜麦和蓝靛果为原料, 酵母菌复配乳酸菌协同发酵, 通过单因素及正交试验优化复合发酵汁发酵工艺条件, 并基于动物试验深入探究其对小鼠抗运动疲劳的作用。 [结果] 藜麦—蓝靛果复合汁最佳发酵工艺条件为: 初始 pH 4.0, 发酵时间 32 h, 发酵温度 37 ℃, 白砂糖添加量 8%, 发酵产物中超氧化物歧化酶的活力为 253.49 U/mL。体外抗氧化试验表明, 藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液具有较强的抗氧化作用且抗氧化性与其浓度成正比。动物试验结果表明, 不同剂量的藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液均延长了小鼠负重力竭游泳时间, 显著降低了血清中尿素氮等指标, 并使肝糖原和肌糖原储备显著增加 ($P < 0.05$)。 [结论] 最优发酵条件下的藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液抗氧化性强, 并且可以提高小鼠机体运动耐力。

关键词: 藜麦; 蓝靛果; 抗氧化; 抗运动疲劳; 发酵工艺

Abstract: [Objective] This study aimed to optimize the fermentation process of quinoa-haskap complex fruit fermentation supernatant and develop anti-exercise fatigue food with high nutritional value. [Methods] Using black quinoa and haskap as

raw materials, yeast combined with *Lactobacillus* for collaborative fermentation, the fermentation process conditions of composite fermentation juice were optimized by single factor and orthogonal test, and its anti-exercise fatigue effect on mice was deeply investigated based on animal experiments. [Results] The optimum fermentation conditions of quinoa-indigo fruit complex juice were as follows: initial pH 4.0, fermentation time 32 h, fermentation temperature 37 ℃, white sugar content 8%, and the activity of superoxide dismutase in the fermentation product was 253.49 U/mL. *In vitro* antioxidant tests showed that composite quinoa-haskap complex fermented supernatant had strong antioxidant effect and proportional to the concentration of antioxidant. The results of animal experiments demonstrated that different doses of quinoa-haskap fruit complex juice fermented supernatant prolonged exhaustive swimming time of mice, significantly reduced serum urea nitrogen and other indexes, and significantly increased liver and muscle glycogen reserves ($P < 0.05$). [Conclusion] The supernatant of quinoa and haskap fruit complex juice under optimal fermentation conditions has strong antioxidant activity and can improve the exercise endurance of mice.

Keywords: quinoa; haskap; oxidation resistance; fatigue resistance; fermentation technology

基金项目: 黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目 (编号: ZDZX202106); 黑龙江省“杂粮生产与加工”优势特色学科资助项目 (编号: 黑教联[2018] 4 号); 黑龙江八一农垦大学“三横三纵”科研团队支持计划——杂粮营养与质量安全创新团队 (编号: TDJH201806)

作者简介: 白海军, 男, 黑龙江八一农垦大学副教授, 硕士。

通信作者: 王颖 (1979—), 女, 黑龙江八一农垦大学教授, 博士。

E-mail: wychen156@163.com

收稿日期: 2024-05-13 **改回日期:** 2024-06-27

藜麦为藜科藜属植物, 含有丰富的蛋白质、矿物质、氨基酸、纤维素、藜麦皂苷、黄酮及酚类化合物, 具有抗氧化、抗衰老等功能作用^[1-2]。蓝靛果为忍冬科植物蓝靛果的果实, 富含多酚、萜类、有机酸、维生素等活性成分, 并含有花青素和花色苷类成分, 可作为理想的天然原料, 应用于抗氧化、抗辐射、抗炎、抗菌等功能性食品中^[3]。

长时间高强度运动会使机体感觉疲劳,伴随体内产生自由基及过氧化物^[4-5],机体营养物质功能不能及时供给。近年来,抗疲劳植物类饮品颇受青睐,姜加良等^[6]研究证实,发酵石榴皮百香果果皮复合饮料可延长小鼠负重力竭游泳时间,提高小鼠的运动耐力。而目前对以藜麦和蓝靛果两种原料作为功能性食品的全面开发及精深加工仍存在不足,同时从营养方面考虑还不能完全满足对营养有特定需求的人群。研究拟将藜麦和蓝靛果复配进行发酵,深入挖掘其功能性。

单一菌种发酵或者复合菌种协同发酵得到的发酵饮品,其发酵后产生多酚等次级代谢产物,这些代谢产物可以发挥抗氧化、抑菌、调节肠道等功能作用^[7]。课题组前期致力于研究与开发杂粮系列发酵饮品,证明其中的活性成分经发酵后可富集并可清除自由基,具有强抗氧化性^[8-10]。同时,也对藜麦蓝靛果发酵液清汁的发酵工艺进行摸索,不但筛选最优发酵菌株及最佳原料和菌种复配比,亦确定最优发酵工艺^[11]。但在发酵前期需多次离心获得原料清汁,可能会损失营养成分。

研究拟以藜麦、蓝靛果果汁为原料,在前期试验基础上通过乳酸菌复合菌系协同发酵后得到混合发酵果汁,并通过体外试验和动物试验探究其抗氧化、抗运动疲劳作用,以期开发一款新型的抗运动性疲劳功能性发酵果汁提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黑藜麦、蓝靛果(成熟期采摘, -80℃冷冻保存)、白砂糖:市售;

耐高温 α -淀粉酶(2万U/mL)、糖化酶(1万U/mL)、果胶酶(500U/mg):上海源叶生物科技有限公司;

超氧化物歧化酶(SOD)测定试剂盒、羟自由基测试试剂盒、血清尿素氮(BUN)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、丙二醛(MDA):南京建成生物工程研究所;

ABTS测试盒、超氧阴离子自由基检测试剂盒:北京索莱宝科技有限公司;

安琪酵母(yeastextract, YE):湖北安琪酵母有限公司;

植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*, LP):东北农业大学菌库;

嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*, LA):中国微生物菌种保藏中心;

雄性小鼠:SPF级,2周龄,初始体重(18±2)g,辽宁长生生物技术股份有限公司;

电子天平:AR2140型,常州励岸宝机械设备科技有限公司;

超声波清洗机:DL-360B型,上海之信仪器有限公司;

高压灭菌锅:LMQ-C-50E型,上海之信仪器有限公司;

多功能粉碎机:YC-04B型,广州金本机械设备有限公司

公司;

酶标仪:Victor Nivo型,美国PerkinElmer公司。

1.2 试验方法

1.2.1 发酵工艺流程

藜麦、蓝靛果预处理→藜麦发酵基质制备→蓝靛果发酵基质制备→混合复配→高温灭菌→接入混合菌种→发酵→上清液分离→过滤→复合发酵上清液

1.2.2 操作要点

(1) 藜麦发酵基质制备:藜麦超微粉碎后过60目筛,按料液比1:10(g/mL)打浆,调节pH为6.0,加入110U/mL的 α -淀粉酶,95℃水浴下液化45min;调节pH为4.5,加入110U/mL糖化酶,60℃水浴下糖化30min,冷却后过滤备用。

(2) 蓝靛果发酵基质制备:筛选后的蓝靛果按料液比1:4(g/mL)榨汁后,添加2.5%果胶酶,45℃水浴下酶解30min,晾至室温后过滤待用。

(3) 藜麦—蓝靛果复合汁制备:将藜麦发酵基质与蓝靛果发酵基质按体积比1:1混合,调节pH值为5.0,85℃灭菌15min。

(4) 接种与发酵:按0.02mL/100mL接种酵母菌、2mL/100mL接种LP与LA至复合浊汁中,置于恒温培养箱中发酵24h。

(5) 上清液分离:在4℃, 1.0×10^4 r/min下离心15min即得复合发酵上清液。

1.2.3 单因素试验 在藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液发酵过程中,多种因素对其发酵效果产生影响,根据前期的试验^[11]结果,确定初始pH、发酵时间、发酵温度、白砂糖添加量、原料复配比、乳酸菌复配比为试验因素。SOD是发酵液的功效酶之一,其抗氧化性对人体健康具有积极作用,尤其是在应对氧化应激中起关键作用,故而将其作为单因素考察指标^[12]。固定原料藜麦和蓝靛果复配比例($V_{\text{藜麦发酵基质}} : V_{\text{蓝靛果发酵基质}}$)为1:1,白砂糖添加量为6%,酵母菌接种量为0.02mL/100mL,乳酸菌LP与LA复配比例($V_{\text{LP}} : V_{\text{LA}}$)为1:1,复合菌接种量为2mL/100mL,考察初始pH(3.0, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5)、发酵时间(16, 24, 32, 40, 48min)、白砂糖添加量(2%, 4%, 6%, 8%, 10%)、发酵温度(31, 34, 37, 40, 43℃)对藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液SOD活力的影响。

1.2.4 正交试验 在单因素试验结果的基础上,选择对SOD活力影响明显的4个因素,进行四因素三水平正交试验。

1.2.5 体外抗氧化试验

(1) DPPH自由基清除率测定:根据文献^[13],按式(1)计算DPPH自由基清除率。

$$X = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

X——DPPH 自由基清除率, %;

A_1 ——样品溶液的吸光度;

A_2 ——无水乙醇代替 DPPH 时测得对应浓度的本底吸光度;

A_0 ——空白组的吸光度。

(2) ABTS 自由基清除率测定: 根据文献[14], 按式(2)计算 ABTS 自由基清除率。

$$R = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

R——ABTS 自由基清除率, %;

A_1 ——1.5 mL ABTS 溶液与 1.5 mL 蒸馏水的吸光度值;

A_2 ——1.5 mL ABTS 溶液与 1.5 mL 未发酵复合剂的吸光度值;

A_0 ——1.5 mL 未发酵复合剂与 1.5 mL 蒸馏水的吸光度值。

(3) 超氧阴离子自由基清除率测定: 采用超氧阴离子自由基清除率检测试剂盒。

(4) 羟自由基清除率测定: 采用羟自由基清除率测试盒。

1.2.6 抗疲劳运动试验 所有小鼠饲养于 SPF 级洁净动

物实验室, 不限制饮食饮水适应性喂养 1 周后随机分为 5 组: 空白对照组(NFD, 生理盐水), 阳性对照组西洋参组(PQ, 200 mg/kg), 藜麦—蓝靛果复合剂发酵上清液低剂量组(QLL, 100 mg/kg)、中剂量组(QLM, 200 mg/kg)、高剂量组(QLH, 400 mg/kg), 每组 8 只小鼠。试验组小鼠每天灌胃一次 2 mL 的受试物, 阳性对照组灌胃 2 mL 西洋参口服液, 剂量组灌胃 2 mL 受试物。试验期间, 小鼠每日完成 20 min 游泳训练, 周期 30 d, 饮水与喂食量相同[15]。

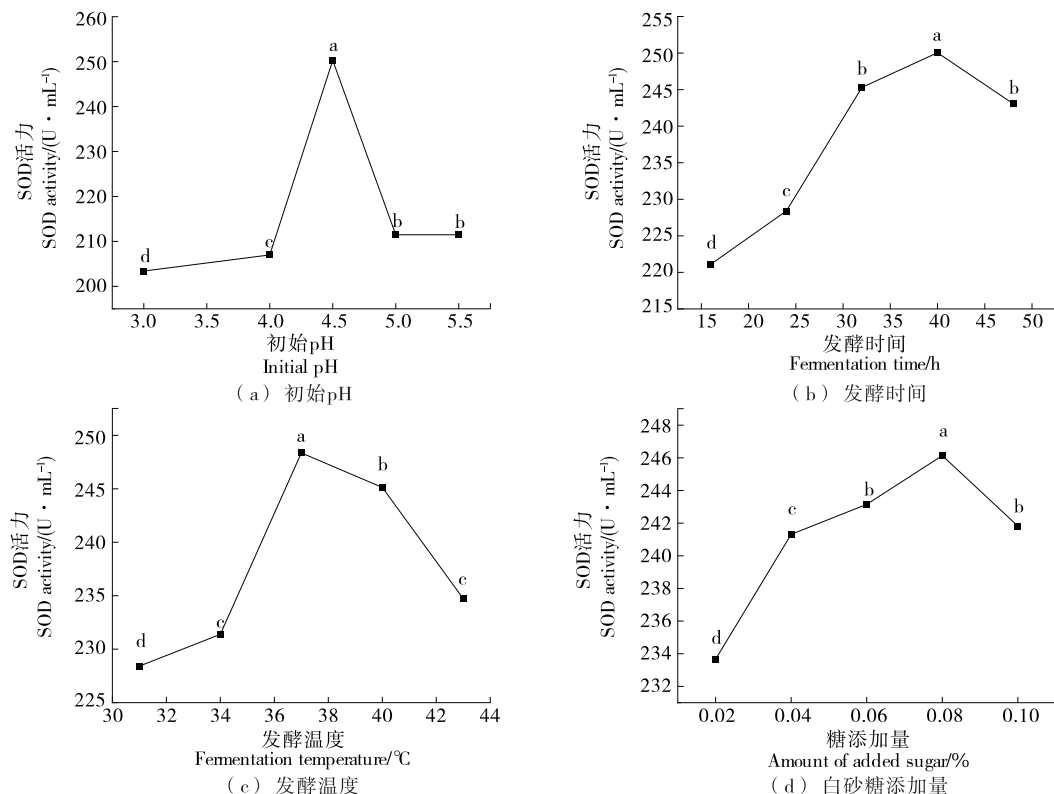
1.2.7 血液肝脏抗氧化指标测定 在测定动物相关指标之前, 灌胃藜麦—蓝靛果复合剂发酵上清液, 等待 30 min 后, 将小鼠放入游泳箱中运动 30 min[16], 随后休息 30 min 取血、右腿肌肉和肝脏。从血液中分离出血清, 测定相关血液指标; 肝脏用于肝糖原的测定; 右腿肌肉用于肌糖原的测定, 血清指标和组织指标均按试剂盒说明书进行测定。

1.2.8 数据处理 采用 Origin2023 软件制图, 采用 SPSS 20.0 软件所获得的数据进行统计学分析。 $P < 0.05$ 表示存在显著性差异, $P > 0.05$ 表示无显著性差异。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

如图1所示, 随着初始pH的增大, SOD活力呈先上



小写字母不同表示差异显著性 ($P < 0.05$)

图1 初始pH、发酵时间、发酵温度和白砂糖添加量对SOD活力的影响

Figure 1 Effects of initial pH, fermentation time, fermentation temperature, sugar addition on SOD activity

升后下降的趋势,当 pH 为 4.50 时,SOD 活力最高,为(250.29±1.43) U/mL。随着发酵时间的增加,SOD 活力呈上升趋势,在发酵 40 h 时,SOD 活力达到最高,为(250.04±1.12) U/mL,待发酵到 48 h 时,SOD 活力降低,为(243.08±1.05) U/mL。发酵温度为 31~37 ℃时,SOD 活力逐渐增加,在 37 ℃时最高,为(248.36±0.77) U/mL;之后随着发酵温度的升高,SOD 活力减弱。当白砂糖添加量为 8%时,SOD 活力最高为(246.14±1.01) U/mL,较 2%白砂糖添加量增加了 5.3%。

综上所述,基于前期的试验考虑到影响发酵工艺的主要因素,藜麦—蓝靛果发酵上清液最佳初始 pH 4.50,发酵时间 40 h,发酵温度 37 ℃,白砂糖添加量 8%。

2.2 正交试验

基于单因素试验的最佳结果确定正交试验的因素水平取值见表 1,试验结果与分析见表 2。

由表 2 可知,发酵温度是最主要的因素,其次为初始 pH,再次为发酵时间,最后是白砂糖添加量;其最佳组合

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal test				
水平	A 初始 pH	B 发酵时间/min	C 白砂糖添加量/%	D 发酵温度/℃
1	4.0	32	6	34
2	4.5	40	8	37
3	5.0	48	10	40

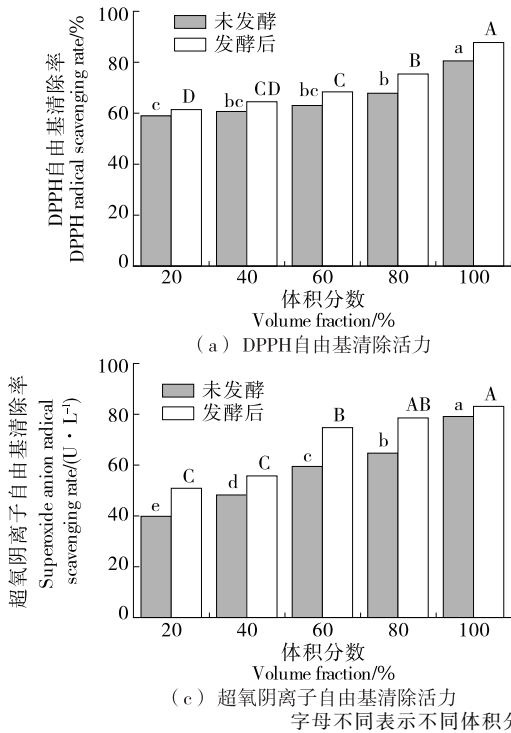


表 2 正交试验结果与分析
Table 2 Experimental results and analyses for optimization of quinoa haskap complex fermented supernatant

试验号	A	B	C	D	SOD 活力/(U · mL ⁻¹)
1	1	1	1	1	227.683±1.124
2	1	2	2	2	247.432±2.212
3	1	3	3	3	228.432±1.898
4	2	1	2	3	246.782±2.987
5	2	2	3	1	227.123±2.023
6	2	3	1	2	219.074±1.695
7	3	1	3	2	224.123±2.044
8	3	2	1	3	213.534±2.287
9	3	3	2	1	222.675±2.576
k ₁	234.516	232.863	220.097	225.827	
k ₂	230.993	229.363	238.963	230.210	
k ₃	220.111	223.394	226.559	229.583	
R	14.405	9.469	18.866	4.383	

为初始 pH 4.0,发酵时间 32 h,发酵温度 37 ℃,白砂糖添加量 8%。该条件下,藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液中 SOD 的活力为(253.49±1.622) U/mL,说明利用正交试验优化藜麦—蓝靛果复合汁的发酵工艺具有可行性。

2.3 藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液抗氧化试验

由图2可以看出,不同体积分数藜麦—蓝靛果复合

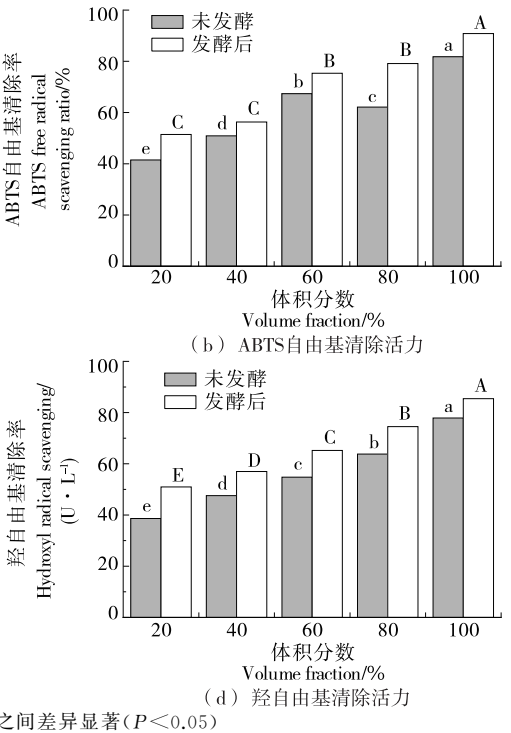


图 2 不同体积分数藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液的体外抗氧化活性
Figure 2 In vitro antioxidant activity of different concentrations of quinoa haskap complex fermented supernatant

汁发酵上清液较未发酵上清液的 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除能力增加显著,同时超氧阴离子自由基和羟自由基清除能力也显著增加,且具有剂量依赖性。说明藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液体外抗氧化性较强。由图 2(a)可知,DPPH 自由基清除率总体呈上升趋势。发酵过程中 DPPH 自由基清除率显著上升,最高可达 87.74%,与未发酵的相比增加了 7.18 个百分点,与 Kaprasob 等^[17]的研究结果一致。这可能由于发酵后代谢产物中抗氧化活性成分增加^[18]。由图 2(b)可以看出,随着藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液体积分数的增加,其对 ABTS 自由基清除率不断上升,当体积分数最大时,ABTS 自由基清除率为 90.83%,较未发酵的增加了 9.05 个百分点。ABTS 自由基清除能力与益生菌发酵过程中高浓度酚类、有机酸等物质的浓度增加密切相关^[11]。乳酸菌发酵有益于发酵底物中超氧阴离子自由基清除能力提高^[19]。由图 2(c)可知,藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液的超氧阴离子自由基清除能力随着体积分数的增加呈上升态势,当体积分数最大时,发酵上清液的超氧阴离子自由基清除能力较未发酵的增加了 3.99 个百分点,与魏文倩等^[20]发现蓝靛果和红树莓复合发酵汁超氧阴离子自由基清除能力相同。

2.4 藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液抗运动疲劳试验

2.4.1 小鼠力竭游泳时间 由表 3 可以看出,与 NFD 组相比,PQ 组小鼠的力竭游泳时间显著延长($P<0.05$),不同剂量组的力竭时间也显著延长($P<0.05$),QLH 组的小鼠负重游泳时间为 (30.38 ± 1.52) min,约为空白对照组 1.7 倍,表明藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液可能具备更好的抗疲劳效果。

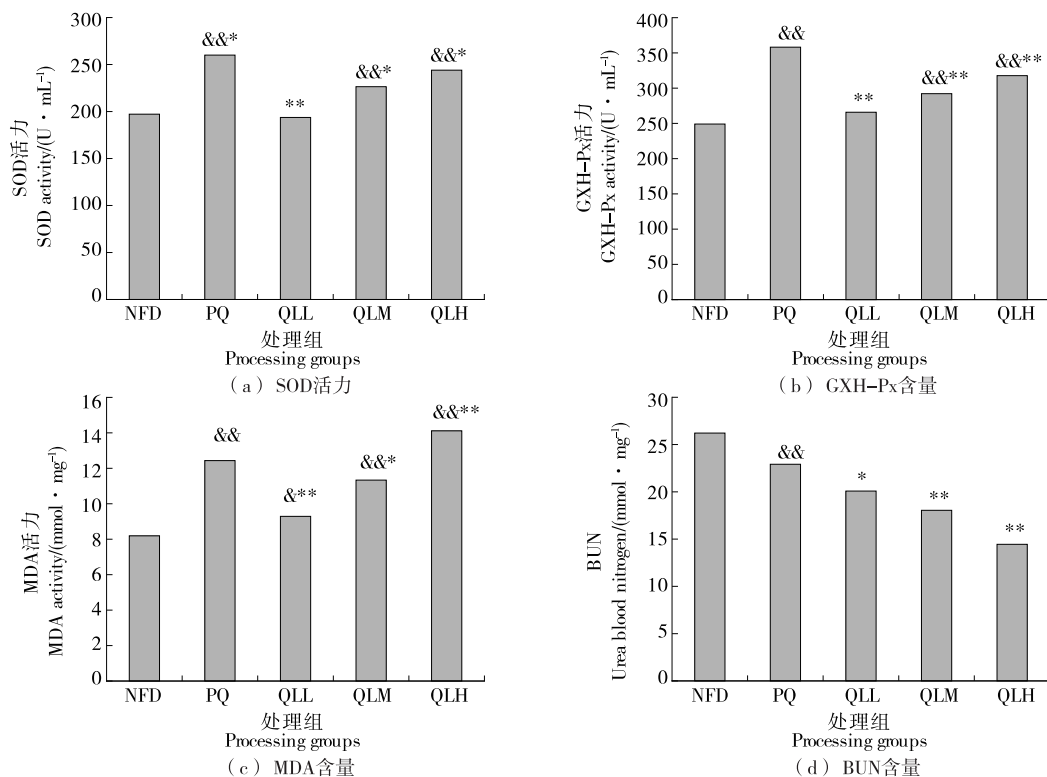
2.4.2 小鼠血液指标 如图 3 所示,与 NFD 组相比,PQ 组、QLL 组、QLM 组和 QLH 组小鼠血清中 SOD、GSH-Px 和 MDA 均显著升高($P<0.05$ 或 $P<0.01$),其中 QLH 组效果最为显著,这可能是由于发酵后其功能性成分富集,提高了抗氧化性,进而在小鼠体内加快自由基清

表 3 小鼠力竭游泳时间[†]

Table 3 Mice exhausted swimming time results

组别	负重游泳时间/min	组别	负重游泳时间/min
NFD	17.84 ± 1.16^d	QLM	24.73 ± 1.55^e
PQ	46.73 ± 3.54^a	QLH	30.38 ± 1.52^b
QLL	21.38 ± 1.60^c		

[†] 小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。



& 表示 PQ 组与 NFD 组比较差异显著($P<0.05$),&& 表示 PQ 组与 NFD 组比较差异极显著($P<0.01$); * 表示 PQ 组与藜麦—蓝靛果复合汁各剂量组比较差异显著($P<0.05$), ** 表示 PQ 组与藜麦—蓝靛果复合汁各剂量组比较差异极显著($P<0.01$)

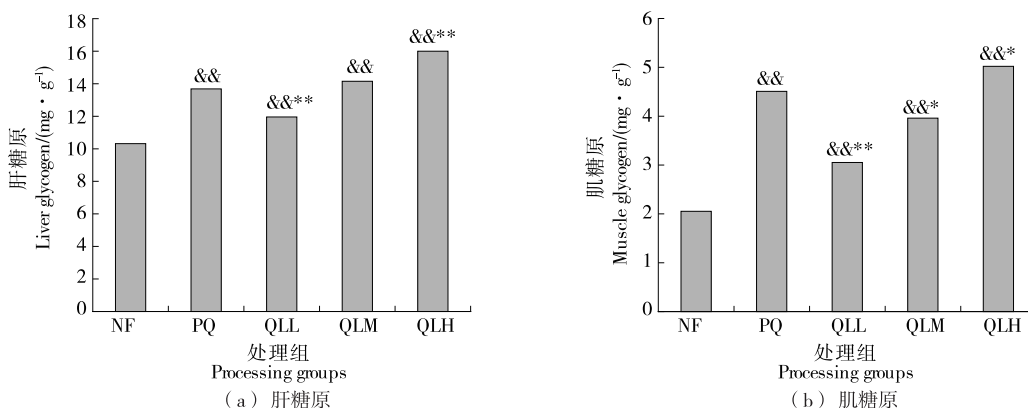
图 3 藜麦—蓝靛果复合汁发酵上清液对小鼠 SOD 活力、GSH-Px 含量、MDA 含量和 BUN 含量的影响

Figure 3 Effects of quinoa haskap complex fermented supernatant on SOD, GSH-Px, MDA and BUN content in mice

除能力。肌肉中蛋白质消耗量减少,进而减慢 BUN 的产生,从而达到抗疲劳的效果^[21]。低、中、高剂量组的 BUN 含量较 NFD 组分别减少了 23.38%,31.15%,44.89%,且显著降低($P<0.05$ 或 $P<0.01$),有利于缓解机体疲劳感。综上,小鼠血液抗氧化指标的变化趋势与王紫玉等^[22]的研究结果一致,这可能与蓝靛果和黑藜麦中富含丰富的花色苷有关。上述研究结果表明,藜麦-蓝靛果复合汁发酵上清液可显著缓解高强度耐力运动小鼠自由基的生成,保护机体各组织细胞膜的完整性,延缓鼠的运

动疲劳产生。

2.4.3 小鼠肝糖原和肌糖原 如图 4 所示,与 NFD 组相比,PQ 组的肝糖原和肌糖原差异显著($P<0.01$),表明阳性对照组能提高小鼠的运动耐力,与王迪等^[14,23-24]的研究结果一致。不同的剂量组肝/肌糖原显著高于 NFD 组,同时 QLH 组也显著高于 PQ 组($P<0.05$ 或 $P<0.01$),表明高剂量组藜麦-蓝靛果发酵上清液可提高肝糖原和肌糖原的含量,增加二者的储存含量,进而延长小鼠运动耐力时间,缓解运动疲劳。



& 表示 PQ 组与 NFD 组比较差异显著($P<0.05$), && 表示 PQ 组与 NFD 组比较差异极显著($P<0.01$); * 表示 PQ 组与藜麦-蓝靛果复合汁各剂量组比较差异显著($P<0.05$), ** 表示 PQ 组与藜麦-蓝靛果复合汁各剂量组比较差异极显著($P<0.01$)

图 4 藜麦-蓝靛果复合汁发酵上清液对小鼠肝糖原和肌糖原含量的影响

Figure 4 Effects of quinoa haskap complex fermented supernatant on the contents of liver and muscle glycogen in mice

3 结论

研究通过复合菌系发酵藜麦-蓝靛果复合汁,得到最佳发酵工艺为初始 pH 4.0,发酵时间 32 h,发酵温度 37 °C,白砂糖添加量 8%。该条件下发酵上清液具有一定的抗氧化作用,而且随着发酵上清液体积分数的增加,其抗氧化能力逐渐增强。抗运动疲劳试验表明,藜麦-蓝靛果复合汁发酵上清液可降低血清尿素氮等含量,提高肝糖原和肌糖原的储备,进而缓解小鼠的运动疲劳,起到一定的抗运动疲劳的作用和功效。但该研究未能对未发酵浊汁的抗氧化性和抗运动疲劳作用进行研究,后续将补充试验以更全面证明发酵过程的作用。

参考文献

- [1] SIP S, SIP A, SZULC P, et al. Haskap berry leaves (*Lonicera caerulea* L.): the favorable potential of medical use[J]. *Nutrients*, 2022, 14(19): 3 898.
- [2] 刘恩泽. 藜麦中抑制白色念珠菌活性蛋白组分的制备及其作用研究[D]. 成都: 成都大学, 2022: 8-14.
- LIU E Z. Preparation and effect of active protein components in quinoa against *Candida albicans*[D]. Chengdu: Chengdu University, 2022: 8-14.

- [3] 李凤凤. 蓝靛果花色苷提取、抗氧化性研究及饮料研制[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019: 14-25.
- LI F F. Study on extraction of anthocyanins from indigo fruit, antioxidant activity and beverage development [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019: 14-25.
- [4] 周玉蕾. 松花粉粗多糖对小鼠抗疲劳作用的研究[D]. 延边: 延边大学, 2022: 10-14.
- ZHOU Y L. Study on anti-fatigue effect of pine pollen crude polysaccharide on mice[D]. Yanbian: Yanbian University, 2022: 10-14.
- [5] 付梦凡, 张纯, 刘炳浩, 等. 多酚复合配方缓解小鼠运动疲劳[J]. *食品与机械*, 2023, 39(12): 145-152, 161.
- FU M F, ZHANG C, LIU B H, et al. Effect of polyphenol compound formula on relieving exercise fatigue in mice[J]. *Food & Machinery*, 2023, 39(12): 145-152, 161.
- [6] 姜加良, 王雪丽, 韩颖, 等. 响应面法优化石榴皮百香果果皮复合饮料发酵工艺及抗疲劳功能评价[J]. *中国食品添加剂*, 2024, 35(3): 220-228.
- JIANG J L, WANG X L, HAN Y, et al. Optimization of fermentation process and evaluation of anti-fatigue function of pomegranate passion fruit composite beverage by response surface method[J]. *China Food Additives*, 2024, 35(3): 220-228.
- [7] JIANG Y, LUO T, TANG Y, et al. Isolation of a novel characterized

- Issatchenkia terricola from red raspberry fruits on the degradation of citric acid and enrichment of flavonoid and volatile profiles in fermented red raspberry juice [J]. Food Science and Human Wellness, 2022, 11(4): 1 018-1 027.
- [8] 王迪, 王颖, 张艳莉, 等. 芸豆酵素发酵过程中组分及抗氧化功能研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(18): 18-24.
- WANG D, WANG Y, ZHANG Y L, et al. Study on components and antioxidant function of kidney bean enzymes during fermentation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(18): 18-24.
- [9] PANG W Q, WANG D, ZUO Z H, et al. Kidney bean fermented broth alleviates hyperlipidemic by regulating serum metabolites and gut microbiota composition[J]. Nutrients, 2022, 14(15): 3 202-3 217.
- [10] 李志芳, 佐兆杭, 王颖, 等. 芸豆/大豆复合发酵液代谢组分及功能性研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(11): 38-43.
- LI Z F, ZUO Z H, WANG Y, et al. Studies on metabolites and functions of soy-based plant fermentation broth [J]. Food & Machinery, 2021, 37(11): 38-43.
- [11] 张智慧, 庞惟俏, 徐炳政, 等. 藜麦和蓝锭果发酵菌株的筛选及复合发酵工艺的优化[J/OL]. 食品工业科技. (2024-05-09) [2024-06-26]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024010251>.
- ZHANG Z H, PANG W Q, XU B Z, et al. Screening of fermentation strains of quinoa and Lonicera caerulea and optimization of complex fermentation process[J/OL]. Science and Technology of Food Industry. (2024-05-09) [2024-06-26]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024010251>.
- [12] 张海燕, 康三江, 袁晶, 等. 苹果酵素自然发酵工艺优化及品质分析[J]. 中国酿造, 2020, 39(10): 145-151.
- ZHANG H Y, KANG S J, YUAN J, et al. Optimization of natural fermentation process and quality analysis of apple enzyme [J]. China Brewing, 2020, 39(10): 145-151.
- [13] 白琳. 蓝莓酵素饮料的研制及其贮藏稳定性的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2021: 18-28.
- BAI L. Study on preparation and storage stability of blueberry enzyme beverage[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2021: 18-28.
- [14] 王迪, 王颖, 张艳莉, 等. 芸豆酵素复合发酵工艺优化及功能性分析[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(7): 62-68.
- WANG D, WANG Y, ZHANG Y L, et al. Process optimization and functional analysis of kidney bean enzyme complex fermentation [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(7): 62-68.
- [15] 黄思, 张霞, 牟泓羽, 等. 贯筋藤酶解核桃分离蛋白及其体内抗疲劳作用[J/OL]. 食品工业科技. (2024-03-18) [2024-06-26]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023090103>.
- HUANG S, ZHANG X, MU H Y, et al. Enzymatic cleavage of walnut isolate proteins by Dregea sinensis Hems. Protease and its anti-fatigue effect in vivo[J/OL]. Science and Technology of Food Industry. (2024-03-18) [2024-06-26]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023090103>.
- [16] 邢艺缤, 王馨悦, 王慕尧, 等. 人参不定根总皂苷的提取工艺优化及其抗氧化与抗疲劳作用[J]. 食品工业科技, 2024, 45(6): 193-201.
- XING Y B, WANG X Y, WANG M Y, et al. Optimization of extraction process of total saponins from ginseng adventitia root and its anti-oxidation and anti-fatigue effects [J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(6): 193-201.
- [17] KAPRASOB R, KERDCHOECHUEN O, LAOHAKUNJIT N, et al. Fermentation-based biotransformation of bioactivephenolics and volatile compounds from cashew apple juice by select lactic acid bacteria[J]. Process Biochemistry, 2017, 59(8): 141-149.
- [18] 朱倩, 杨松, 伍玉茵, 等. 乳杆菌发酵对生姜副产物蒸馏液活性成分及抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(24): 131-138.
- ZHU Q, YANG S, WU Y H, et al. Effects of Lactobacillus fermentation on the active components and antioxidant activities of ginger by-product distillate[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(24): 131-138.
- [19] HU X, ZENG J R, SHEN F, et al. Citrus pomace fermentation with autochthonous probiotics improves its nutrient composition and antioxidant activities[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 157: 113076.
- [20] 魏文倩, 张冰, 李利强, 等. 响应面法优化蓝锭果红树莓复合发酵汁的研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(8): 172-179.
- WEI W Q, ZHANG B, LI L Q, et al. Study on the optimization of the compound fermentation juice mixed with blue hazelnut and red raspberry using response surface method[J]. Food Research and Development, 2020, 41(8): 172-179.
- [21] 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): 3 010-3 021.
- [22] 王紫玉, 傅经明, 孙寿丹, 等. 含蓝莓花色苷的谷物发酵物抗疲劳作用研究[J]. 军事医学, 2016, 40(7): 558-560.
- WANG Z Y, FU J M, SUN S D, et al. Anti-fatigue activity of fermented grain-containing blueberry anthocyanins [J]. Military Medicine, 2016, 40(7): 558-560.
- [23] 蔡宁, 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. Development of passion fruit peel enzyme beverage and its influence on exercise endurance[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(10): 230-236.
- [24] 屈青松, 林峰, 赵崇妍, 等. 发酵乳杆菌发酵人参工艺优化及人参皂苷抗氧化活性测定[J]. 中成药, 2020, 42(10): 2 738-2 743.
- QU Q S, LIN F, ZHAO C Y, et al. Optimization of L. mentans ginseng fermentation process and determination of antioxidant activity of ginsenosides [J]. Chinese Patent Drug, 2020, 42(10): 2 738-2 743.