

鲜芦根荷叶复合饮料研制及对运动耐力的影响研究

王举翠*, 李明芝

(华北科技学院体育部, 廊坊 065201)

摘要: **目的** 以鲜芦根与荷叶的提取液为原料, 研制鲜芦根荷叶复合饮料, 并考察其对小鼠运动耐力的影响。**方法** 基于单因素试验结果, 采用 Box-Behnken 与正交试验设计原理对复合饮料的配方参数进行优化, 并通过动物实验考察其对小鼠运动耐力的影响。**结果** 鲜芦根荷叶复合饮料的最佳配方为: 鲜芦根提取液用量 27%、荷叶提取液用量 31%、赤藓糖醇用量 4%、柠檬酸用量 0.2%、羧甲基纤维素钠用量 0.08%、黄原胶用量 0.03%、海藻酸钠用量 0.05%。不同剂量的鲜芦根荷叶复合饮料均可明显延长小鼠的爬杆时间($P<0.01$), 显著增强体内乳酸脱氢酶活力($P<0.01$), 并显著减少体内乳酸含量($P<0.01$)。**结论** 所得鲜芦根荷叶复合饮料呈淡红色、酸甜适宜, 具有鲜芦根与荷叶的混合香味, 形态均一、稳定, 有利于提高机体的运动耐力。

关键词: 鲜芦根; 荷叶; 复合饮料; 运动耐力; 小鼠

Development and effect on exercise endurance of compound beverage of *Rhizoma phragmitis* and *Lotus leaf*

WANG Ju-Cui*, LI Ming-Zhi

(Physical Education Department, North China Institute of Science and Technology, Langfang 065201, China)

ABSTRACT: Objective To develop compound beverage of *Rhizoma phragmitis* and *Lotus leaf* with *Rhizoma phragmitis* and *Lotus leaf* as the raw materials, and study the effect of its athletic stamina in mice. **Methods** The formula parameters of compound beverage was optimized by Box-Behnken and orthogonal test design based on the single factor test result. Animal experiment was conducted to investigate its effect on athletic stamina in mice. **Results** The optimal formula of the compound beverage was: 27% of *Rhizoma phragmitis* extract liquid, 31% of *Lotus leaf* extract liquid, 4% of erythritol, 0.2% of citric acid, 0.08% of sodium carboxymethylcellulose, 0.03% of xanthan gum, and 0.05% of sodium alginate. The compound beverage at different gavage dosage could all obviously prolong the climbing time in mice ($P<0.01$), dramatically increase the activity of lactic dehydrogenase ($P<0.01$), and significantly decrease lactic acid content *in vivo* ($P<0.01$). **Conclusion** The compound beverage of *Rhizoma phragmitis* and *Lotus leaf* presented light red, moderate acidity and sweetness with mixed fragrance of *Rhizoma phragmitis* and *Lotus leaf*, homogeneous and stable of solution character, and can improve athletic stamina in mice.

KEY WORDS: *Rhizoma phragmitis*; *Lotus leaf*; compound beverage; athletic stamina; mice

*通信作者: 王举翠, 硕士, 讲师, 主要研究方向为运动训练营养。E-mail: wangjc@ncist.edu.cn

*Corresponding author: WANG Ju-Cui, Master, Lecturer, North China Institute of Science and Technology, Langfang 065201, China. Email: wangjc@ncist.edu.cn

0 引言

鲜芦根是禾本科多年生草本植物芦苇的新鲜根茎,具有清热养阴、除烦止呕的功效,其主要成分阿魏酸可抑制体内产生自由基的酶的活性,从而避免自由基对人体正常细胞的损害^[1]。荷叶为睡莲科植物莲的叶子,富含多糖、黄酮、多酚、有机酸、荷叶碱等成分,气味清香,具有除风祛湿、清心健脾的作用^[2-3],特别是其黄酮提取物对羟自由基与超氧阴离子自由基的清除能力较好,清除强度与剂量呈一定线性关系^[4];其多酚提取物的抗氧化效果优于维生素 C (vitamin C, VC)与柠檬酸^[5];其多糖提取物对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基、2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸[2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, ABTS)]自由基和羟自由基的清除能力也十分显著,且与浓度呈正相关^[6]。

“运动耐力”指机体能够承受的最大运动负荷,由于高强度运动水平下,机体生理环境发生改变,不能维持预定的运动强度,从而可能出现持续性或重度疲劳,甚至发生内分泌紊乱、免疫功能下降和器质性疾病^[7-8]。MASON 等^[9]与 TRINITY 等^[10]的研究先后表明,运动耐力的下降与体内的氧化-还原平衡破坏有关。当机体剧烈运动时,肌肉收缩诱导活性氧/NO 水平升高,相关肌蛋白发生亚硝基化作用,促使自由基浓度水平上升,导致各组织、器官供氧不足,出现疲劳感^[9-10]。目前市场流行的运动饮料多采用电解质、糖类等为主要成分,以缓解运动后体内水盐代谢紊乱,抗疲劳效果参差不齐且口感较为单一,而利用具有抗氧化活性的物质制得的运动饮料,不仅口感丰富,且具有良好的抗运动疲劳作用^[11-12],与常规“盐”、“糖”

饮料相较,有利于从根本上提高机体的运动耐力。

本研究基于鲜芦根与荷叶药食两用的特性,以上述 2 种物质的提取液为原料,基于单因素实验结果,根据响应面与正交实验设计原理,优化鲜芦根荷叶复合饮料的最佳配方,并利用动物实验考察其对动物运动耐力的影响,以期对相关运动食品的开发提供参考,同时也为鲜芦根与荷叶等野生资源的利用提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

实验动物为 SPF 级昆明健康雄性小鼠,质量 17~23 g,由河北省实验动物中心提供,动物生产许可证号 SYXK(冀)2008-0026。

鲜芦根、荷叶采自廊坊落堡湿地;赤藓糖醇、柠檬酸(食品级,陕西晨明生物科技有限公司);羧甲基纤维素钠、黄原胶、海藻酸钠(食品级,广东鼎盛食品配料有限公司);小鼠乳酸、乳酸脱氢酶试剂盒(上海臻科生物科技有限公司);实验用水为纯化水。

DFY300 型粉碎机(鼎历医疗器械有限公司);HH-4C 型恒温水浴锅(苏州国飞实验室仪器有限公司);GJJ-380 型均质机(温州市龙湾万源食品机械设备有限公司);1901 型紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司);TG-16W 型高速离心机(山东博科生物产业有限公司);1000TH 型恒温恒湿箱(北京兰贝石恒温技术有限公司);T-220 型封灌机[鲁邦(山东)包装机械有限公司]。

1.2 复合饮料制备

1.2.1 制备工艺

复合饮料制备工艺流程图见图 1。

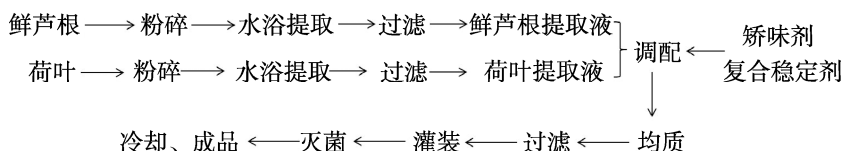


图 1 制备工艺流程图

Fig.1 Preparation process flow chart

1.2.2 具体操作

(1) 鲜芦根提取液制备

将芦苇去除残茎、叶片及须根,保留新鲜根茎,完全切碎后,在鲜芦根与水的质量比 1:8 条件下于 80 °C 浸提 30 min 后,经 120 目纱布过滤,提取液备用^[13]。

(2) 荷叶提取液制备

新鲜荷叶去杆后,切丝晒干,粉碎过 80 目筛,在荷叶粉与水的质量比 1:10 条件下,于 80 °C 浸提 60 min,经 120 目纱布过滤后,提取液备用^[14]。

(3) 调配和均质

将鲜芦根提取液与荷叶提取液混合均匀后,加入一定剂量的矫味剂(柠檬酸、赤藓糖醇)与复合稳定剂(羧甲基纤维素钠、黄原胶、海藻酸钠)于 20 MPa 下均质搅拌至完全溶解。

(4) 灌装和灭菌

均质搅拌后的复合饮料灌装于洁净的玻璃瓶内,经高温灭菌(灭菌参数: 121 °C、15 min)后,冷却即得鲜芦根荷叶复合饮料。

1.2.3 复合饮料感官评价标准

通过观察鲜芦根荷叶复合饮料的性状,结合相关要求^[15-16],制定该复合饮料的感官评价标准,见表 1 所示。

选择 10 名饮料感官评价经验丰富的从业人员,按照表 1 所述要求,分别评价不同饮料样品“色泽”、“气味”、“口感”与“组织形态”,所有评价分数去掉最高分与最低分后取平均值,即为该饮料的感官得分。

1.2.4 复合饮料配方考察

(1)单因素实验设计

在预实验基础上,固定复合稳定剂的用量,分别考察鲜芦根提取液(15%、20%、25%、30%、35%, V:V)、荷叶提取液(20%、25%、30%、35%、40%, V:V)、赤藓糖醇(1%、2%、3%、4%、5%, m:V)和柠檬酸(0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%, m:V)的添加量对复合饮料感官得分影响,所有实验均重复 3 次,结果取平均值。

(2)响应面实验设计

根据单因素实验结果,以鲜芦根提取液、荷叶提取液、赤藓糖醇及柠檬酸在饮料中的添加量为因素,以复合饮料的感官评分为响应值,设计 4 因素 3 水平的响应面实验,具体见表 2。

表 1 复合饮料感官评价标准		
Table 1 Criterion of sensory evaluation on compound beverage		
维度	评价标准	评分
色泽	透亮、澄清呈微红色	16~20
	偏红,色泽不均一	8~15
	深红或色泽暗淡	0~7
气味	具有芦根与荷叶的混合清香味	16~20
	仅有其中一种味道,且气味偏淡	8~15
	基本无香味,异味明显	0~7
口感	酸甜适宜,口感清爽	21~30
	仅有芦根或荷叶风味,口感欠柔和	11~20
	有明显异味,或酸、甜味突出	0~10
组织形态	均一透明,无明显沉淀	21~30
	略浑浊、但无明显分层	11~20
	浑浊、且静置有明显分层	0~10

表 2 响应面实验因素设计				
Table 2 Factors design of response surface experiment				
水平	A 鲜芦根提取液/%	B 荷叶提取液/%	C 赤藓糖醇/%	D 柠檬酸/%
-1	20	25	3	0.1
0	25	30	4	0.2
1	30	35	5	0.3

1.2.5 复合稳定剂用量考察

(1)单因素实验设计

以 1.2.4 (2)确定的复合饮料最佳配方为基础,固定黄原胶用量 0.04%、海藻酸钠用量 0.05%,分别考察羧甲基纤维素钠(0.02%、0.04%、0.06%、0.08%、0.10%, m:V)用量

对复合饮料的离心沉淀率影响,固定羧甲基纤维素钠 0.08%、海藻酸钠 0.05%,分别考察黄原胶(0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05%, m:V)用量对复合饮料的离心沉淀率影响,另外固定羧甲基纤维素钠用量 0.08%、黄原胶用量 0.04%,分别考察海藻酸钠(0.01%、0.03%、0.05%、0.07%、0.09%, m:V)的添加量对复合饮料的离心沉淀率影响。

(2)正交实验设计

根据单因素实验结果,采取正交实验确定鲜芦根荷叶复合饮料中不同稳定剂的最佳用量,具体设计见表 3 所示。

表 3 正交实验因素与水平			
Table 3 Factors and levels in orthogonal test			
水平	X 羧甲基纤维素钠/%	Y 黄原胶/%	Z 海藻酸钠/%
-1	0.06	0.03	0.03
0	0.08	0.04	0.05
1	0.10	0.05	0.07

1.3 复合饮料质量评价

1.3.1 理化指标

(1)离心沉淀率:量取复合饮料 20 mL 置于离心机内,以 3000 r/min 转速离心 10 min 后,称取上清液质量(精确至 0.0001 g),计算离心沉淀率。离心沉淀率(%)=(样品质量-上清液质量)/样品质量×100^[17]。

(2)总酸含量:按照 GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》检测。

(3)总黄酮含量:采用亚硝酸钠-硝酸铝法测定^[18]。

(4)总多糖含量:采用苯酚-硫酸法测定^[19]。

1.3.2 微生物指标

采用 GB/T 4789.10—2016《食品安全国家标准 食品微生物检验 菌落总数测定》检测复合饮料中菌落总数;采用 GB/T 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物检验 大肠杆菌计数》检测该复合饮料中总大肠杆菌数。

1.4 运动耐力影响评价

1.4.1 实验设计

80 只小鼠经适应性喂养 5 d 后,按体质量随机分为对照组与低、中、高剂量组,每组 20 只,其中低、中、高剂量组小鼠的复合饮料灌胃量按照《保健食品功能评价》要求,分别给予 10、20、30 mL/(kg·d),而对照组则按照 20 mL/(kg·d)灌胃 0.85%生理盐水,4 组小鼠均连续操作 30 d^[20]。

1.4.2 爬杆时间

末次灌胃结束,休息 30 min 后,将各组 10 只小鼠置于爬杆中,记录小鼠自肌肉紧张抱紧爬杆至无力脱落的时间,每次完成后休息 10 min,重复 3 次,累计时间记作爬杆时间^[21]。

1.4.3 血乳酸浓度与乳酸脱氢酶活力

末次灌胃 30 min 后,选取各组 10 只小鼠置于

(30±2) °C的水中游泳 30 min, 取出休息 10 min, 经眼眶采血, 检测运动后各组动物的血乳酸(blood lactic acid, BLA)浓度与乳酸脱氢酶(lactic dehydrogenase, LDH)活力^[22]。

1.5 统计学分析

实验结果以 3 次均值±标准偏差表示, 通过 SPSS 19.0 软件进行方差分析, 比较组间差异, 当 $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 复合饮料配方研究结果

2.1.1 鲜芦根提取液添加量对复合饮料感官得分影响

固定荷叶提取液添加量 30%、赤藓糖醇添加量 4%、柠檬酸添加量 0.2%, 考察不同鲜芦根提取液用量对复合饮料感官得分的影响。随着鲜芦根提取液用量的增多, 复合饮料的感官得分为(61.2±1.0)、(74.3±1.4)、(81.5±1.2)、(78.1±1.6)、(66.3±1.1)分, 呈增大后减小的趋势。不同添加量鲜芦根提取液所得的复合饮料感官得分, 均有极显著性差异($P<0.01$), 当鲜芦根提取液用量为 25%时, 感官得分最高。随鲜芦根提取液用量的增多, 溶液涩味加重, 且静置后悬浮物明显, 离心沉淀率高于 5%, 明显影响复合饮料的“口感”和“组织形态”得分, 因此选择鲜芦根提取液添加量 20%、25%、30%作为响应面实验因素考察水平。

2.1.2 荷叶提取液添加量对复合饮料感官得分影响

固定鲜芦根提取液添加量 25%、赤藓糖醇添加量 4%、柠檬酸添加量 0.2%, 考察不同荷叶提取液添加量对复合饮料感官得分的影响。随着荷叶提取液用量的增多, 复合饮料的感官得分为(57.4±1.5)、(72.1±1.8)、(82.7±1.9)、(77.3±1.2)、(62.9±1.6)分, 呈增大后减小的趋势。不同添加量荷叶提取液所得的复合饮料感官得分, 均有极显著性差异($P<0.01$), 当荷叶提取液用量为 30%时, 感官得分最高。荷叶提取液用量的增多, 有助于增强饮料的“清香感”, 饮料的感官得分不断增大, 但添加过多使得荷叶多酚与生物碱的含量偏高, “苦涩味”明显, 溶液颜色偏红, 因此选择荷叶提取液添加量 25%、30%、35%作为响应面实验因素考察水平。

2.1.3 赤藓糖醇添加量对饮料感官得分影响

赤藓糖醇作为新型甜味剂, 具有甜度低、稳定性高、水溶性大、热量小等优点, 已被广泛用于饮料口感调节^[23]。固定鲜芦根提取液添加量 25%、荷叶提取液添加量 30%、柠檬酸添加量 0.2%, 分别考察不同赤藓糖醇添加量对复合饮料的感官得分影响。随着赤藓糖醇用量的增多, 复合饮料的感官得分为(65.2±1.8)、(70.5±0.7)、(75.4±1.3)、(81.6±1.5)、(73.1±1.4)分, 呈增大后减小的趋势。不同添加量的赤藓糖醇所得的复合饮料感官得分, 均有极显著性差异($P<0.01$), 当赤藓糖醇用量为 4%时, 感官得分最高。添加赤藓糖醇有助于改善复合饮料的口感, 但浓度过高, 饮

料口感偏腻, 使得得分降低, 因此选择赤藓糖醇添加量 3%、4%、5%作为响应面实验因素考察水平。

2.1.4 柠檬酸添加量对饮料感官得分影响

添加柠檬酸有助于改善饮料的“气味”与“口感”, 固定鲜芦根提取液添加量 25%、荷叶提取液添加量 30%、赤藓糖醇添加量 4%, 不同柠檬酸添加量对复合饮料的感官得分影响。随着柠檬酸提取液用量的增多, 复合饮料的感官得分为(76.3±1.4)、(82.2±1.2)、(74.2±1.6)、(64.9±0.8)、(57.2±1.3)分, 呈增大后减小的趋势。不同添加量柠檬酸用量所得的复合饮料感官得分, 均有极显著性差异($P<0.01$), 当柠檬酸用量为 0.2%时, 感官得分最高。柠檬酸用量较多可能掩盖鲜芦根与荷叶的混合香味, 导致复合饮料涩味突出, 当浓度为 2%时, 感官得分达到最高值, 因此考虑 0.1%、0.2%、0.3%作为柠檬酸用量的响应面实验考察水平。

2.2 响应面实验

2.2.1 响应面实验结果与分析

采用四因素三水平的响应面分析实验, 考察鲜芦根提取液(A)、荷叶提取液(B)、赤藓糖醇(C)及柠檬酸(D)的用量对复合饮料的感官得分(Y)影响, 结果见表 4 所示。

表 4 响应面实验结果
Table 4 Results of the response surface experiment

实验号	A 鲜芦根 提取液/%	B 荷叶 提取液/%	C 赤藓 糖醇/%	D 柠檬 酸/%	Y 感官 得分
1	0	-1	0	-1	67.5
2	0	1	0	1	78.6
3	-1	0	-1	0	70.6
4	0	0	0	0	82.8
5	1	1	0	0	79.2
6	1	0	1	0	77.5
7	-1	1	0	0	78.8
8	0	0	0	0	83.7
9	0	1	0	-1	72.5
10	0	-1	1	0	69.8
11	-1	0	1	0	77.2
12	0	1	-1	0	74.2
13	0	0	-1	1	71.1
14	0	-1	-1	0	69.3
15	-1	0	0	-1	72.4
16	1	0	-1	0	73.7
17	0	0	0	0	82.8
18	0	0	0	0	82.3
19	0	0	-1	-1	71.1
20	-1	-1	0	0	69.1
21	0	0	0	0	83.4
22	0	-1	0	1	72.1
23	0	1	1	0	77.8
24	0	0	1	-1	70.7
25	0	0	1	1	79.4
26	1	0	0	-1	73.9
27	-1	0	0	1	74.3
28	1	-1	0	0	76.9
29	1	0	0	1	77.9

利用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 4 实验结果进行多元回归拟合, 得到各因素水平与感官得分的二次多项回归方程:

$$Y=83.0+1.39A+3.03B+1.87C+2.11D-1.85AB-0.70AC+0.53AD+0.77BC+0.38BD+2.18CD-2.80A^2-4.76B^2-5.18C^2-5.30D^2$$
, 对方程进行方差分析, 结果见表 5。

从表 5 可知, 该二次多项式回归模型具有极显著性 ($P<0.01$), 确定系数为 0.9754, 失拟项 >0.05 , 表明该模型方程可准确反映各因素与响应值的变化关系。从显著性分析可知, 一次项 A、B、C、D, 二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 , 交互项 AB、CD 对复合饮料的感官得分影响均极显著 ($P<0.01$), 各因素在考察的水平范围内, 对复合饮料的感官得分影响顺序为: 荷叶提取液添加量(B)>柠檬酸添加量(D)>赤藓糖醇用量(C)>鲜芦根提取液(A)。

2.2.2 响应曲面分析与验证

两种因素交互作用的响应曲面, 见图 1。响应曲面陡

峭程度愈高, 表明响应值对各因素水平的变化越敏感。其中鲜芦根提取液添加量与荷叶提取液添加量的交互作用影响极显著, 部分提取液用量过多, 必然导致另一种风味被掩盖, 从而出现气味、口感的不协调; 赤藓糖醇用量与柠檬酸用量的交互作用影响极显著, 其余因素之间交互作用均不显著。

通过二次多项模型回归分析, 确定鲜芦根荷叶复合饮料的最佳配方为鲜芦根提取液用量 26.74%、荷叶提取液用量 31.35%、赤藓糖醇用量 4.2%、柠檬酸用量 0.21%, 但为便于后续实际操作, 确定鲜芦根提取液用量 27%、荷叶提取液用量 31%、赤藓糖醇用量 4%、柠檬酸用量 0.2%。该配方下制得复合饮料感官评分为 (84.1±1.1)分, 与理论预测值 83.8 分接近, 表明建立的模型具有较好的预测性。

表 5 响应面方差分析
Table 5 Variance analysis of response surface experiment

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
A	23.24	1	23.24	20.26	0.0005	**
B	110.41	1	110.41	96.27	< 0.0001	**
C	41.81	1	41.81	36.46	< 0.0001	**
D	53.34	1	53.34	46.51	< 0.0001	**
AB	13.69	1	13.69	11.94	0.0039	**
AC	1.96	1	1.96	1.71	0.2122	
AD	1.10	1	1.10	0.96	0.3435	
BC	2.40	1	2.40	2.09	0.1698	
BD	0.56	1	0.56	0.49	0.4952	
CD	18.92	1	18.92	16.50	0.0012	**
A ²	50.70	1	50.70	44.21	< 0.0001	**
B ²	146.87	1	146.87	128.05	< 0.0001	**
C ²	174.27	1	174.27	151.94	< 0.0001	**
D ²	181.92	1	181.92	158.61	< 0.0001	**
模型	636.43	14	45.46	39.63	< 0.0001	**
残差	16.06	14	1.15			
失拟项	14.84	10	1.48	4.86	0.0705	
误差项	1.22	4	0.31			
总和	652.49	28				
R ²	0.9754		调整 R ²	0.9508		

注: **差异极显著($P<0.01$)。

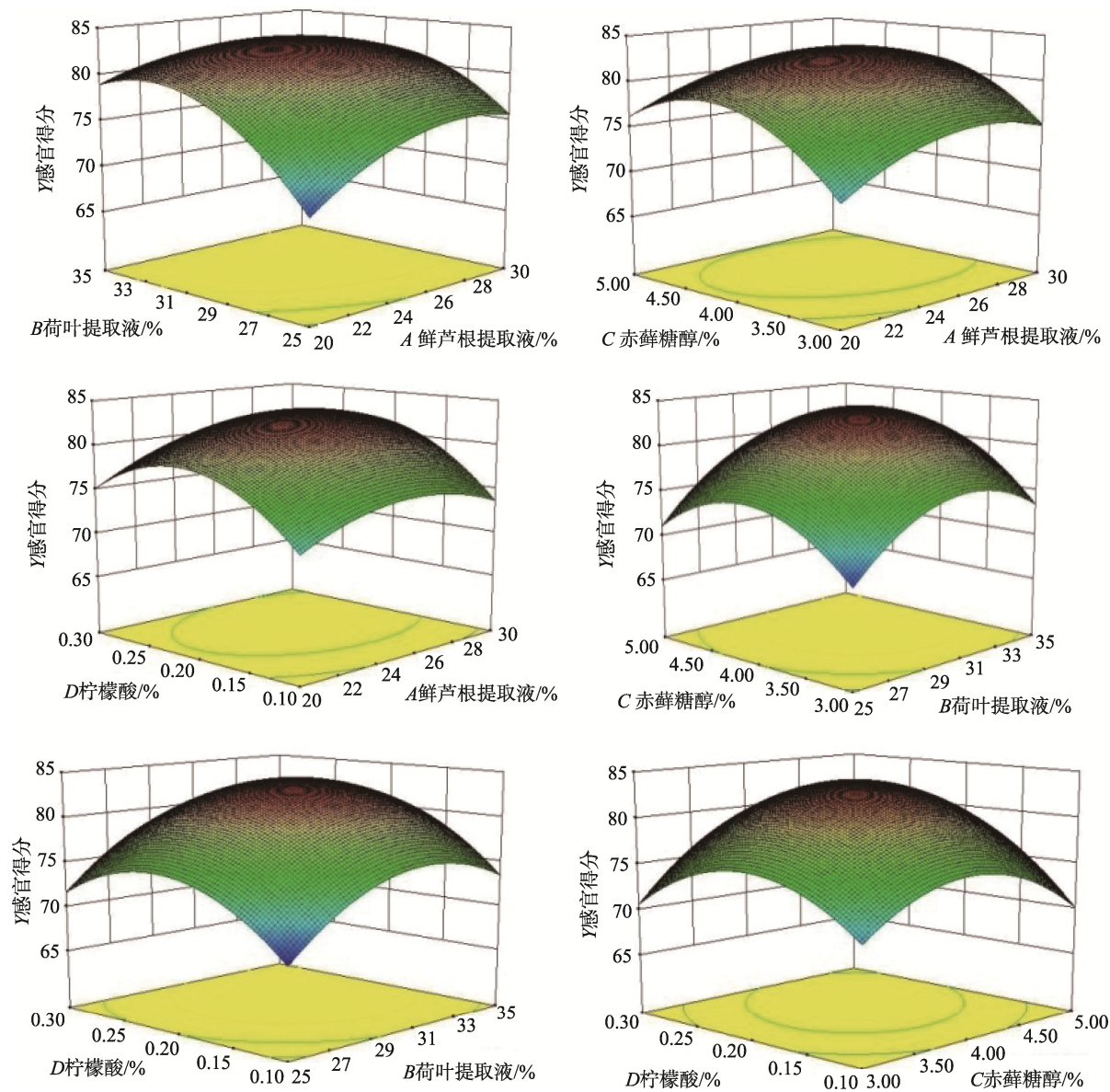


图 1 两因素交互作用对饮料感官得分的影响
Fig.1 Effects of factors interaction on sensory scores in beverage

2.3 复合稳定剂用量研究结果

2.3.1 单因素实验结果

羧甲基纤维素钠、黄原胶和海藻酸钠作为饮料的常用稳定剂，复配可起到协同增效的作用，不仅有利于提高复合饮料的稳定性，使其组织、形态均一，还可调节其粘度，改善口感^[24]。表 6 为不同稳定剂的用量对复合饮料离心沉淀率的影响，随着各稳定剂的用量增多，复合饮料的离心沉淀率逐渐下降至平衡，表明溶液趋于均一、稳定，但考虑稳定剂的用量较多时，溶液粘度过大，影响口感，因此以饮料的感官得分为评价指标，采用正交实验对其用量选择进一步优化。

2.3.2 正交实验结果

表 7 为不同稳定剂用量考察的正交实验结果，通过极

值分析可知，各因素对复合饮料的感官得分影响顺序为： $A>B>C$ ，即羧甲基纤维素钠用量对饮料的感官得分影响最大，其次为黄原胶和海藻酸钠，各因素的最优水平组合为 $A_2B_1C_2$ ，即选择羧甲基纤维素钠用量 0.08%，黄原胶用量 0.03%，海藻酸钠用量 0.05%时，复合饮料溶液粘度适中，流动性较好，且组织均一、稳定，静置 24 h 后未见明显沉淀，感官得分达到 84.4 分。

2.4 复合饮料质量评价

2.4.1 感官指标

鲜芦根荷叶复合饮料呈淡红色，组织形态均一、具有鲜芦根、荷叶混合香味与口感，酸甜适宜，静置未有明显沉淀。

表 6 不同稳定剂用量对复合饮料离心沉淀率的影响
表 6 Effects of different stabilizer amount on centrifugal precipitation rates in compound beverage

种类	用量/%	离心沉淀率/%	种类	用量/%	离心沉淀率/%	种类	用量/%	离心沉淀率/%
羧甲基纤维素钠	0.02	3.9±0.1 ^a	海藻酸钠	0.01	3.7±0.1 ^a	黄原胶	0.01	4.2±0.1 ^a
	0.04	3.1±0.1 ^b		0.03	2.8±0.1 ^b		0.02	2.9±0.1 ^b
	0.06	2.3±0.1 ^c		0.05	2.5±0.1 ^c		0.03	2.4±0.1 ^c
	0.08	2.1±0.1 ^d		0.07	2.3±0.1 ^d		0.04	2.2±0.1 ^d
	0.10	2.1±0.1 ^d		0.09	2.3±0.1 ^d		0.05	2.2±0.1 ^d

注: 不同字母代表具有显著性差异(P<0.05)。

表 7 正交实验结果
Table 7 Results of the orthogonal-test

实验号	X 羧甲基纤维素钠/%	Y 黄原胶/%	Z 海藻酸钠/%	感官得分
1	1	1	1	82.6
2	1	2	2	81.9
3	1	3	3	74.1
4	2	1	2	84.4
5	2	2	3	80.5
6	2	3	1	78.4
7	3	1	3	76.8
8	3	2	1	73.7
9	3	3	2	71.6
K ₁	238.6	243.8	234.7	
K ₂	243.3	236.1	237.9	
K ₃	222.1	224.1	231.4	
k ₁	79.5	81.3	78.2	
k ₂	81.1	78.7	79.3	
k ₃	74.0	74.7	77.1	
R	7.07	6.57	2.17	

2.4.2 理化与微生物指标

该饮料的总酸量为 0.27%(以柠檬酸计); 总多糖含量 4.75%; 总黄酮含量 5.11%; 离心沉淀率为 2.2%; 采用平板计数法检测复合饮料的菌落总数≤70 CFU/100 mL, 大肠杆菌群数≤3 MPN/100 mL, 未有致病菌检出。

2.5 动物运动耐力影响结果

2.5.1 爬杆时间

表 8 为各组小鼠的爬杆时间, 与对照组相较, 低剂量组的平均爬杆时间延长 4.9 min, 差异具有极显著性(P<0.01), 而中剂量组与高剂量组的平均爬杆时间分别延长 8.8 min 和 12.4 min, 差异也具有极显著性(P<0.01), 同

时各剂量组小鼠的爬杆时间也具有明显差异(P<0.05), 表明不同灌胃剂量对小鼠的爬杆时间影响显著, 且作用强度呈现剂量的依赖性, 其中复合饮料低、中、高剂量组小鼠爬杆时间分别提高 1.26、1.47 和 1.66 倍。刘媛媛^[25]研究的人参不老莓复合饮料低、中、高剂量组小鼠爬杆时间分别提高 1.24、1.31、1.60 倍; 王书全等^[26]研究的螺旋藻多糖低、中、高剂量组小鼠爬杆时间分别提高 1.46、1.94、2.12 倍, 相较来看, 鲜芦根荷叶复合饮料有助于提高疲劳小鼠肌肉对静态力的持久能力, 表现出较好的肌肉耐疲劳程度。

表 8 复合饮料对小鼠爬杆时间的影响(n=10)
Table 8 Effects of compound beverage on climbing time in mice (n=10)

组别	爬杆时间/min
空白对照组	18.7±1.23
低剂量组	23.6±1.57** ^a
中剂量组	27.5±2.18** ^b
高剂量组	31.1±1.94** ^c

注: 与空白对照组相较, **差异极显著(P<0.01); 不同字母表示组间具有显著性差异(P<0.05), 下同。

2.5.2 BLA 与 LDH 测定结果

机体剧烈运动时, 肌肉收缩速度加快, 致使细胞供氧不足, 发生糖酵解生成大量的乳酸, 蓄积在骨骼或肌肉中, 使得四肢出现酸痛, 运动耐力降低, 而乳酸脱氢酶可将乳酸转化成丙酮酸, 加快其体内代谢, 从而延缓或消除疲劳, 有利于提高机体的运动耐力^[27]。各组小鼠运动后血清中 BLA 浓度与 LDH 活力水平, 见表 9 所示, 与对照组相比, 低、中、高剂量组动物的平均 BLA 浓度分别降低 1.1、1.9 和 2.5 mmol/L, LDH 平均活力分别升高 411.7、722.5 和 1043.3 U/L, 差异具有极显著性(P<0.01), 表明鲜芦根荷叶复合饮料有助于提高动物体内 LDH 活力水平, 从而加快体内乳酸代谢清除, 达到提高身体运动耐力的目的。同时各剂量组小鼠的 BLA 与 LDH 也具有明显差异(P<0.05), 可知不同灌胃剂量对小鼠的 BLA 浓度与 LDH 活力水平影响显著, 且存在剂量依赖性。

表 9 复合饮料对小鼠运动后 BLA 浓度与 LDH 活力的影响
Table 9 Effects of compound beverage on content of BLA and activity of LDH in mice after exercise

组别	BLA/(mmol/L)	LDH 活力/(U/L)
空白对照组	10.2±0.48	4752.8±227.6
低剂量组	9.1±0.51** ^a	5164.5±312.8** ^a
中剂量组	8.3±0.45** ^b	5475.3±258.4** ^b
高剂量组	7.7±0.39** ^c	5796.1±279.3** ^c

3 结 论

本研究以鲜芦根与荷叶的提取液为原料，并与赤藓糖醇、柠檬酸、羧甲基纤维素钠、黄原胶和海藻酸钠复配后，通过调配、均质、灌装、灭菌与冷却制得鲜芦根荷叶复合饮料。利用响应面与正交实验确定鲜芦根复合饮料的最佳配方为：鲜芦根提取液用量 27%、荷叶提取液用量 31%、赤藓糖醇用量 4%、柠檬酸用量 0.2%、羧甲基纤维素钠用量 0.08%、黄原胶用量 0.03%、海藻酸钠用量 0.05%，感官得分达到 84.4 分，所得饮料呈淡红色，具有鲜芦根、荷叶混合香味与口感，酸甜适宜，组织形态均一、稳定，静置未有明显沉淀。小鼠灌胃鲜芦根荷叶复合饮料 30 d 后，可明显延长其爬杆时间，且灌胃剂量越大，运动时间愈长，同时增强体内乳酸脱氢酶的活力，加快运动时乳酸的代谢，提高机体的运动耐力，因此具有一定的抗疲劳功效，可作为运动食品推广使用。

参考文献

[1] 欧仕益. 阿魏酸的功能和应用[J]. 广州食品工业科技, 2002, (4): 50–53.
OU SY. The function and application of Ferulic acid [J]. Mod Food Sci Technol, 2002, (4): 50–53.

[2] SONG YR, HAN AR, PARK SG, *et al.* Effect of enzyme-assisted extraction on the physicochemical properties and bioactive potential of *Lotus leaf* polysaccharides [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 153: 169–179.

[3] 杨怡萌, 杨广梅, 王仲明, 等. 荷叶黄酮自由基清除活性的量子化学研究[J]. 分子科学学报, 2020, 36(6): 489–496.
YANG YM, YANG GM, WANG ZM, *et al.* Quantum chemical study on radical scavenging activity of *Lotus leaf* flavonoids [J]. J Mol Sci, 2020, 36(6): 489–496.

[4] 侯学敏, 李林霞, 张直峰, 等. 响应面法优化薄荷叶总黄酮提取工艺及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 124–128.
HOU XM, LI LX, ZHANG ZF, *et al.* Total flavonoids from *Mentha haplocalyx* Briq. leaves: Optimization of extraction process by response surface methodology and antioxidant activity [J]. Food Sci, 2013, 34(6): 124–128.

[5] 张俊伟, 董树国, 仲乙, 等. 荷叶多酚的提取工艺优化及抗氧化研究[J]. 吉林医药学院学报, 2020, 41(1): 8–11.
ZHANG JW, DONG SG, ZHONG Y, *et al.* Study on the extraction of

polyphenol from lotus-leaf and its antioxidant activities [J]. J Jilin Med Univ, 2020, 41(1): 8–11.

[6] 孙思燕, 江宁, 戴竹青, 等. 荷叶离褶伞多糖提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(9): 155–160.
SUN SY, JIANG N, DAI ZQ, *et al.* Study on the optimization of extraction technology and antioxidant activity of polysaccharides from *Lyophyllum decastes* (Fr.) singer [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(9): 155–160.

[7] TENG YS, WU D. Anti-fatigue effect of green tea polyphenols (-)-epigallocatechin-3-gallate (EGCG) [J]. Pharmacogn Mag, 2017, 13(50): 326–331.

[8] YOU L, ZHAO M, REGENSTEIN JM, *et al.* In vitro antioxidant activity and in vivo anti-fatigue effect of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) peptides prepared by papain digestion [J]. Food Chem, 2011, 124(1): 188–194.

[9] MASON SA, MORRISON D, MCCONELL GK, *et al.* Muscle redox signalling pathways in exercise. Role of antioxidants [J]. Free Radical Biol Med, 2016, 98: 29–45.

[10] TRINITY JD, BROXTERMAN RM, RICHARDSON RS. Regulation of exercise blood flow: Role of free radicals [J]. Free Radical Biol Med, 2016, 98: 90–102.

[11] 雷培培. 短梗五加多酚运动饮料制备及缓解疲劳作用[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 174–179.
LEI PP. Preparation of polyphenols of *Acanthopanax sessiliflorus* sports beverage and its fatigue relieving effect [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(11): 174–179.

[12] 王思. 运动饮料及其功能性成分的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(21): 7758–7765.
WANG S. Research progress of sports drinks and their functional components [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(21): 7758–7765.

[13] 陈光宇, 瞿昊宇, 何群, 等. 药膳五汁饮中鲜芦根鲜麦冬的水提工艺研究[J]. 中国药师, 2018, 21(11): 1912–1915.
CHEN GY, QU HY, HE Q, *et al.* Study on the water-extracting process of *Radix ophiopogonis* and *Rhizoma phragmitis* in medicated diet five-juice decoction [J]. China Pharm, 2018, 21(11): 1912–1915.

[14] 何莉萍, 谭念, 陈先雷, 等. 荷叶功能茶饮料工艺及稳定性研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(1): 92–95.
HE LP, TAN N, CHEN XL, *et al.* Studies on processing technology and stability of *Lotus leaf* tea beverage [J]. J Cere Oils, 2018, 31(1): 92–95.

[15] 卓长清, 赵欣, 栾朝霞. 枸杞刺五加运动饮料研制及抗疲劳作用研究[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30(12): 131–136.
ZHUO CQ, ZHAO X, LUAN ZX. Study on preparation and anti-fatigue function of wolfberry and *Acanthopanax senticosus* sports beverage [J]. China Food Addit, 2019, 30(12): 131–136.

[16] 庞庭才, 李薇, 黄海, 等. 红菇多糖饮料的研制[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(7): 69–75.
PANG TC, LI W, HUANG H, *et al.* Preparation of *Russula* polysaccharide beverage [J]. China Food Addit, 2020, 31(7): 69–75.

[17] 郑佳. 牛磺酸薄荷复合运动饮料研制及其体外抗氧化活性[J]. 食品工

- 业科技, 2019, 40(23): 157–162.
- ZHENG J. Development of taurine and mint mixed sports beverage and its antioxidant activity *in vitro* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(23): 157–162.
- [18] 胡倩, 李静, 刘大会, 等. 艾叶总黄酮提取物体内外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(6): 304–309.
- HU Q, LI J, LIU DH, *et al*. Antioxidant activity of total flavonoids extracts from folium of *Artemisiae argyi* *in vitro* and *in vivo* [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(6): 304–309.
- [19] 贺银菊, 杨再波, 彭莘媚, 等. 响应面优化瓶尔小草多糖超声提取工艺及体外抗氧化活性[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(9): 19–27.
- HE YJ, YANG ZB, PENG XM, *et al*. Response surface analysis of ultrasound extraction optimization and *in vitro* antioxidant ability of polysaccharides from *Ophioglossum vulgatum* [J]. *China Food Addit*, 2020, 31(9): 19–27.
- [20] 杜景涛, 郑贞, 陈骏, 等. 党参枸杞复合饮料的制备及其抗氧化活性研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(2): 109–115.
- DU JT, ZHENG Z, CHEN J, *et al*. Study on preparation of composite sports beverage made with *Codonopsis pilosula* and wolfberry and its antioxidant activity [J]. *Storage Process*, 2021, 21(2): 109–115.
- [21] TAN W, YU KQ, LIU YY, *et al*. Anti-fatigue activity of poly-saccharides extract from *Radix rehmanniae* preparat [J]. *Int J Biol Macromol*, 2012, 50(1): 59–62.
- [22] WANG J, LI SS, FAN YY, *et al*. Anti-fatigue activity of the water-soluble polysaccharides isolated from *Panax ginseng* C.A. Meyer [J]. *J Ethnopharmacol*, 2010, 130(2): 421–423.
- [23] 马婧, 李涵, 邓红, 等. 澳洲青苹与海沃德猕猴桃全果肉纤维复合饮料的研制[J]. 农产品加工, 2017, (21): 1–5.
- MA J, LI H, DENG H, *et al*. Development of pulp and fiber compound beverage with Granny Smith and Hayward kiwi fruit [J]. *Farm Prod Process*, 2017,(21): 1–5.
- [24] 杨柳, 邵婷, 钟金锋, 等. 三种稳定剂对猕猴桃椰汁复合乳饮料稳定性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(10): 116–121.
- YANG L, SHAO T, ZHONG JF, *et al*. Effects of stabilizers on the stability of kiwifruit and coconut juice mixed milk beverage [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(10): 116–121.
- [25] 刘媛媛. 人参不老莓复合饮料研制及其功能性研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- LIU YY. Preparation and functional activities of beverage of ginseng-aronia [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020.
- [26] 王书全, 李丽. 螺旋藻多糖抗疲劳作用研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 328–330.
- WANG SQ, LI L. Study on anti-fatigue effect of *Spirulina* polysaccharide [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(22): 328–330.
- [27] YANG DS, LIAN JH, WANG LY, *et al*. The anti-fatigue and anti-anoxia effects of *Tremella* extract [J]. *Saudi J Biol Sci*, 2019, 26(8): 2052–2056.

(责任编辑: 郑 丽 张晓寒)

作者简介



王举翠, 硕士, 讲师, 主要研究方向为运动训练营养。
Email: wangjc@ncist.edu.cn