

刘文静. 雪樱子石榴复合饮料研制及其抗运动性疲劳作用 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(12): 203–208. doi: 10.13386/j.issn1002-2020090125

LIU Wenjing. Preparation of *Amaranthus caudatus* L. and *Punica granatum* Composite Beverage and Its Resisting Exercise Fatigue Effect[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(12): 203–208. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-2020090125

· 工艺技术 ·

雪樱子石榴复合饮料研制及其 抗运动性疲劳作用

刘文静

(天水师范学院, 甘肃天水 741000)

摘要:以雪樱子多糖与石榴果实为原料, 研制雪樱子石榴复合饮料, 并观察其抗运动性疲劳效果。以感官评分为指标, 通过单因素实验与 Box-Behnken 响应面法确定复合饮料的最佳配方, 并考察其对动物的力竭游泳时间和运动后体内生化指标的影响。结果表明, 雪樱子石榴复合饮料的最佳配方为 10% 雪樱子多糖液与 20% 石榴汁的体积比为 2:5、蔗糖量 4.5%、柠檬酸量 0.4%、羧甲基纤维素钠量 0.06%, 感官评分达到 89.8 分。与空白对照组相比, 中、高剂量雪樱子石榴复合饮料可极显著性延长小鼠的负重游泳时间 ($P<0.01$), 降低运动后体内乳酸浓度 ($P<0.01$), 减少蛋白质的分解 ($P<0.01$), 研究发现雪樱子石榴复合饮料具有较好的抗运动性疲劳效果。

关键词:雪樱子, 多糖, 石榴汁, 复合饮料, 运动性疲劳

中图分类号: TS275.4

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2021)12-0203-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-2020090125

Preparation of *Amaranthus caudatus* L. and *Punica granatum* Composite Beverage and Its Resisting Exercise Fatigue Effect

LIU Wenjing

(Tianshui Normal University, Tianshui 741000, China)

Abstract: The composite beverage was developed with *Punica granatum* fruit and polysaccharide of *Amaranthus caudatus* L. as main raw materials and observed its anti-fatigue activity. Sensory evaluation score was used as the index. The single factor experiments and response surface analysis method were used to optimize the formula of composite beverage, and investigate its effect of exhaustive swimming time and related biochemical indexes after animal exercise. The results showed that the best formula of the compound beverage was as follows: The volume ratio of 10% *Prunus syringae* polysaccharide liquid to 20% *Punica granatum* juice was 2:5, the amount of sucrose was 4.5%, the amount of citric acid was 0.4%, the amount of sodium carboxymethyl cellulose was 0.06%, and the sensory score was 89.8. Compared with the blank control group, the animal groups of composite beverage at middle and high dose could significantly prolong the exhaustive swimming time ($P<0.01$), obviously decreased BLA ($P<0.01$) and BUN ($P<0.01$) contents after exercise. Therefore, the composite beverage of *Amaranthus caudatus* L. and *Punica granatum* had better anti-fatigue function.

Key words: *Amaranthus caudatus* L.; polysaccharide; *Punica granatum* juice; composite beverage; exercise fatigue

雪樱子(*Amaranthus caudatus* L.)为苋科苋属草本植物, 具有药食两用特性, 因其富含多糖、皂苷、花青素等成分, 具有免疫调节、抗衰老、抗肿瘤和抗病毒等活性, 而被广泛用于保健食品^[1-2], 目前国、内外对其提取物的活性进行了详细研究, 如 Brunì 等^[3]

发现雪樱子种子油内维生素 E、脂肪酸含量较高; Jo 等^[4]发现其单宁提取物可清除氧自由基; Ashok Kumar 等^[5]发现雪樱子提取物可显著降低体内总胆固醇; 而姚宏亮等^[6]则发现雪樱子多糖对羟自由基、DPPH 自由基的清除能力较强。

收稿日期: 2020-09-14

作者简介: 刘文静 (1988-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 运动人体营养, E-mail: xqpei2000@163.com。

运动性疲劳通常源于机体剧烈运动后,产生的大量活性氧自由基,促使体内氧化应激反应发生,造成组织损伤和肌肉收缩能力的下降^[7-8],而体内外源性补充运动饮料,有助于缓解机体疲劳^[9-10]。由于天然化合物的体、内外活性高度相关^[11],而未有文献公开探讨雪樱子的体内抗疲劳活性,同时石榴汁常用于饮料调味^[12-13],为此本研究以雪樱子多糖为原料,利用石榴汁改善风味,研制雪樱子石榴复合饮料,探讨不同组分对饮料的品质影响,并通过动物实验,观察其抗运动性疲劳效果,从而为相关运动食品的开发提供参考。

1 材料与方法

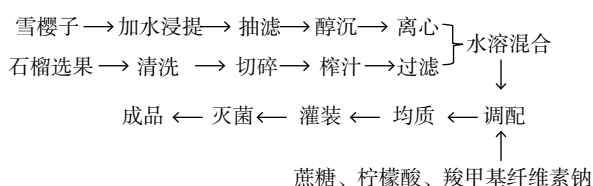
1.1 材料与仪器

雪樱子 南京继红农业科技发展有限公司;石榴、蔗糖 天水市罗峪果菜批发市场;柠檬酸 临沂海星化工有限公司;羧甲基纤维素钠 河北鸿韬生物工程技术有限公司;试验用水 蒸馏水;SPF级健康雄性小鼠 80只,体质量15~25g,由兰州兽医研究所实验动物中心提供;血乳酸(BLA)、尿素氮(BUN)检测试剂盒 南京信帆生物有限公司。

TD-3002A型电子天平 上海衡际科学仪器有限公司;PHS-3E型pH计 上海仪电科学仪器股份有限公司;752型紫外可见分光光度计 上海科晓科学仪器有限公司;YT-25型高压均质机 浙江英拓机械科技有限公司;BKQ-B100II型自动蒸汽灭菌器 山东博科生物产业有限公司;ZX-2200DE型超声波器 上海知信实验仪器技术有限公司;BK-FD18P型真空冷冻干燥机 济南来宝医疗器械有限公司;TG16-WS型高速台式离心机 湖南湘仪检测设备有限公司;动物恒温游泳池 徐州利华电子科技发展有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程



1.2.2 操作要点 参考文献^[6]操作,采用水提醇沉法制备雪樱子多糖,具体如下:在质量体积比1:20条件下,于95℃提取雪樱子水溶液6h后,抽滤取滤液,加入80%乙醇溶液静置12h后,离心(4000r/min)10min,沉淀经冷冻干燥后,即得。

选取新鲜石榴取果后,加入至0.1%Vc溶液护色,在质量体积比1:4下榨汁,经过4层纱布过滤即得石榴汁^[14]。

10%雪樱子多糖液与20%石榴汁按照一定体积比混合后,加入蔗糖、柠檬酸与羧甲基纤维素钠,均质(20MPa、70℃)2次,灌装于玻璃瓶内,于121℃

灭菌5min即得^[15]。

1.2.3 单因素实验 根据预实验结果,考察雪樱子多糖液与石榴汁体积比、蔗糖量、柠檬酸量和羧甲基纤维素钠量(相对雪樱子多糖与石榴汁混合溶液)对复合饮料的感官品质影响,具体如下:固定蔗糖量5%、柠檬酸量0.3%、羧甲基纤维素钠量0.06%,分别考察雪樱子多糖液与石榴汁体积比(1:1、1:2、1:3、1:4、1:5);固定雪樱子多糖液与石榴汁体积比1:3、柠檬酸量0.3%、羧甲基纤维素钠量0.06%,分别考察蔗糖量(1%、3%、5%、7%、9%);固定雪樱子多糖液与石榴汁1:3、蔗糖量5%、羧甲基纤维素钠量0.06%,分别考察柠檬酸量(0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%);固定雪樱子多糖液与石榴汁体积比1:3、蔗糖量5%、柠檬酸量0.3%,分别考察羧甲基纤维素钠量(0.02%、0.04%、0.06%、0.08%、0.10%)。

1.2.4 响应面试验设计 根据单因素实验结果,以雪樱子多糖液与石榴汁体积比(A)、蔗糖量(B)、柠檬酸量(C)和羧甲基纤维素钠量(D)为响应因素,饮料的感官评分为响应值(Y),设计四因素三水平的响应面试验,利用Design-Expert软件的Box-Behnken中心组合设计原理进行试验,确定复合饮料的各组分最佳参数,试验因素及水平见表1所示。

表1 Box-Behnken 试验因素与水平
Table 1 Factors and levels in Box-Behnken experimental

水平	A雪樱子多糖液与石榴汁体积比	B蔗糖量 (%)	C柠檬酸量 (%)	D羧甲基纤维素钠量 (%)
-1	1:2	3	0.2	0.04
0	1:3	5	0.3	0.06
1	1:4	7	0.4	0.08

1.2.5 饮料感官品质评价 根据雪樱子石榴复合饮料的特性,并参考其它饮料的评价标准^[16],制定该复合饮料的感官评价标准,见表2所示,同时邀请10位经过食品感官技能培训人员,参照该标准,对饮料样品进行感官评价,最终评分取结果平均值。

表2 复合饮料感官评价标准
Table 2 Sensory evaluation criteria of the composite beverage

评价项目	评价标准	评价价值 (分)
色泽	呈紫红色,色泽均一、光亮	21~25
	紫红色较深或较暗,色泽均一	11~20
	色泽偏暗,不均匀和透亮	0~10
气味	具有雪樱子多糖与石榴果实复合香味,且气味协调	21~25
	石榴香味稍许,无异味	11~20
口感	无石榴或雪樱子多糖香味,异味明显	0~10
	酸甜适中、口感柔和	21~25
	口感偏甜、无涩味	11~20
组织形态	口感过酸或过甜、涩味明显	0~10
	溶液呈半透明、静置无明显沉淀和分层、黏度适中	21~25
	溶液较透明、无沉淀	11~20
	溶液不透明、静置后有明显沉淀或分层且较浓稠	0~10

1.2.6 理化与微生物指标检测

1.2.6.1 pH 采用 pH 计检测。

1.2.6.2 可溶性固形物 采用折光计检测。

1.2.6.3 离心沉淀率 参考文献 [17] 操作步骤, 离心后检测。

1.2.6.4 微生物指标 参照 GB 4789.1-2016 食品微生物学检验步骤^[18], 分别检测样品的微生物菌落总数、大肠杆菌和致病菌。

1.2.7 动物试验

1.2.7.1 动物分组与剂量设计 80 只健康雄性小鼠适应性喂养 7 d 后(饲养环境温度: 20~25 °C, 相对湿度: 50%~70%), 按体质量随机分为四组, 即空白对照组和低、中、高剂量组, 每组各 20 只, 根据《保健食品功能评价》要求, 设计人体推荐摄入剂量的 10、20、30 倍, 作为低、中、高剂量组动物每日雪樱子多糖摄入量, 即 0.10、0.20、0.30 mg/g·d, 空白对照组则给予生理盐水, 各剂量组均按照 0.2 mL/g 体重灌胃, 全部动物每天灌胃 1 次, 连续灌胃 30 d, 灌胃期间可自由喂食与饮水^[19-20]。

1.2.7.2 负重游泳试验 末次灌胃后, 各组动物于鼠尾负重 5% 体重量, 置于(25±2)°C 游泳池内开展负重游泳试验, 记录小鼠自入水开始游泳至沉没超过 10 s 的时间^[21]。

1.2.7.3 生化指标检测 末次灌胃结束后, 各组剩余动物游泳 30 min, 取出擦净, 休息 10 min 后, 于眼底取血, 离心, 制备血清, 照相关试剂盒说明书要求, 检测各组小鼠血清中乳酸(BLA)与尿素氮(BUN)的含量^[22]。

1.3 数据处理

实验数据采用均数、标准差描述, 利用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析, 不同组间的比较采用方差分析, 检验水准 $\alpha=0.05$, 当 $P<0.05$ 判断为差异显著, $P<0.01$ 判断为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 雪樱子多糖液与石榴汁体积比对饮料品质影响

雪樱子多糖液与石榴汁的不同体积比对饮料的感官评分影响, 见图 1 所示。从图 1 可知, 当雪樱子多糖液与石榴汁的体积比为 1:3 时, 饮料的感官得分最大, 若比值过高, 则样品溶液中石榴香味不明显, 而石榴汁用量过多, 又使得溶液光亮感不足, 因此确定雪樱子多糖液与石榴汁体积比 1:2、1:3、1:4 作为响应面因素考察水平。

2.2 蔗糖量对饮料品质影响

不同蔗糖量对饮料的感官品质影响, 见图 2 所示。从图 2 可知, 随着蔗糖用量的增多, 样品的感官得分呈现先增大后减小的趋势, 这归因于蔗糖用量过少, 样品酸味过于突出, 而用量过多又造成溶液甜度较高, 因此选择蔗糖用量 3%、5%、7% 作为响应面因素考察水平。

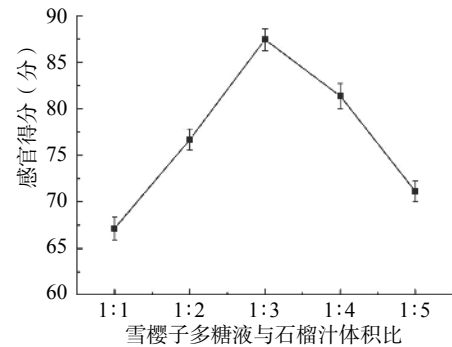


图 1 溶液体积比对饮料感官评分影响

Fig.1 Effect of volume ratio of two solution on the sensory evaluation of beverage

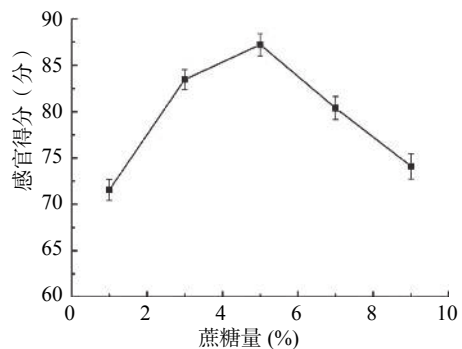


图 2 蔗糖量对饮料感官评分影响

Fig.2 Effect of sucrose amount on the sensory evaluation of beverage

2.3 柠檬酸量对饮料品质影响

柠檬酸不仅作为矫味剂, 可丰富饮料的口感, 还起到抗氧化和调节溶液 pH 的作用, 有利于饮料长期稳定存放^[23]。不同柠檬酸用量对饮料的感官品质影响, 见图 3 所示。从图 3 可知, 当柠檬酸用量增至 0.3% 时, 样品的感官评分开始降低, 这归因于溶液的酸味过重, 因此选择柠檬酸的用量 0.2%、0.3%、0.4% 作为响应面因素考察水平。

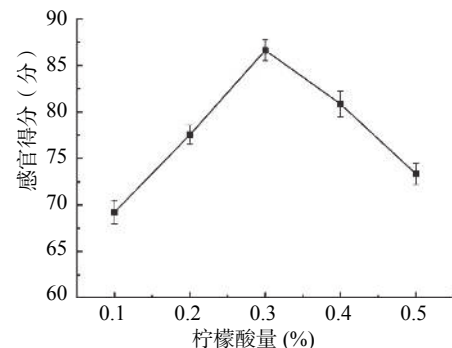


图 3 柠檬酸量对饮料感官评分影响

Fig.3 Effect of citric acid amount on the sensory evaluation of beverage

2.4 羧甲基纤维素钠量对饮料品质影响

雪樱子多糖提取物和石榴汁中, 仍存在部分纤维组织, 使得饮料长期存放, 可能出现明显沉淀, 甚至分层, 因此利用羧甲基纤维素钠, 以提高溶液的稳定性。

性^[24]。不同羧甲基纤维素钠用量对饮料的感官品质影响,见图4所示。从图4可见,随着羧甲基纤维素钠用量的增多,样品的感官评分逐渐增大,至0.06%后开始减小,这源于羧甲基纤维素钠含量较多,将造成溶液黏度增大。因此选择0.04%、0.06%、0.08%羧甲基纤维素钠量作为响应面因素考察水平。

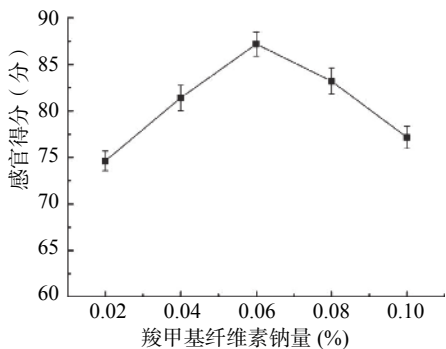


图4 羧甲基纤维素钠量对饮料感官评分影响

Fig.4 Effect of sodium carboxymethyl cellulose amount on the sensory evaluation of beverage

2.5 响应面优化试验结果

根据单因素试验结果,采用 Box-Behnken 中心组合设计原理,进行四因素三水平的 RSM 分析试验,考察雪樱子多糖液与石榴汁体积比(A)、蔗糖(B)、柠檬酸(C)及羧甲基纤维素钠(D)用量对饮料的感官评分(Y)影响,试验方案及结果见表3所示。

上述试验结果进行多元回归拟合,得到以感官评分为目标函数,各参数编码值的二次多项回归模型: $Y=87.14+2.09A+1.84B+5.25C-1.40D-2.97AB+0.075AC+0.17AD-2.48BC+2.77BD+2.10CD-5.26A^2-3.81B^2-2.27C^2-3.77D^2$,对该模型进行显著检验与方差分析,结果见表4。

从表4可知,该回归模型 $P<0.01$,表明该模型回归效果显著,较好反映实际结果, $R^2=0.9295$ 显示模型拟合值与实际结果高度相关,而失拟项 $P=0.3137>0.05$ 表明该模型方程不显著,可准确反映各因素与响应值关系,一次项 A、B、C 对饮料的感官得分影响均极显著 ($P<0.01$), D 影响显著 ($P<0.05$),二次项 A^2 、 B^2 、 D^2 对饮料的感官得分影响也均极显著 ($P<0.01$), C^2 影响显著 ($P<0.05$),交互项 AB、BC、BD 的影响均显著 ($P<0.05$),另从表4中 F 值得到,各因素对饮料的感官得分影响顺序为:柠檬酸用量(C)>雪樱子多糖液与石榴汁体积比(A)>蔗糖用量(B)>羧甲基纤维素钠用量(D)。

2.6 响应曲面分析

图5为不同考察因素的交互作用对复合饮料的感官得分影响,响应曲面越陡峭,表明该因素对感官评分影响越大^[25],当图5中等高线椭圆度越大,表明两个因素的交互作用对响应值的影响越显著^[26],由方差分析与响应面可知,溶液体积比与蔗糖量,蔗糖量与柠檬酸用量,柠檬酸用量与羧甲基纤维素钠量和蔗

表3 响应面试验结果

Table 3 Results of the response surface experiment

实验号	A	B	C	D	Y感官评分(分)
1	0	1	0	1	84.4
2	0	1	-1	0	81.2
3	-1	1	0	0	80.5
4	1	0	0	1	79.6
5	0	0	0	0	87.7
6	0	0	0	0	86.5
7	0	-1	1	0	86.6
8	-1	0	-1	0	70.1
9	0	0	0	0	89.5
10	1	0	0	-1	80.4
11	1	0	1	0	88.3
12	-1	0	1	0	81.7
13	0	-1	0	1	71.7
14	0	-1	-1	0	74.1
15	-1	0	0	-1	77.7
16	0	-1	0	-1	79.3
17	0	1	0	-1	80.9
18	0	0	1	-1	87.8
19	-1	-1	0	0	72.8
20	1	-1	0	0	81.8
21	-1	0	0	1	76.2
22	0	0	-1	-1	79.8
23	1	0	-1	0	76.4
24	0	1	1	0	83.8
25	0	0	0	0	87.2
26	0	0	-1	1	70.4
27	1	1	0	0	77.6
28	0	0	0	0	87.2
29	0	0	1	1	86.8

表4 响应面方差分析

Table 4 Variance analysis of response surface experiment

来源	平方和	自由度	均方	F值	P值
A	52.50	1	52.50	11.70	0.0041
B	40.70	1	40.70	9.07	0.0093
C	330.75	1	330.75	73.72	<0.0001
D	23.52	1	23.52	5.24	0.0381
AB	35.40	1	35.40	7.89	0.0139
AC	0.022	1	0.022	0.0051	0.9445
AD	0.12	1	0.12	0.027	0.8711
BC	24.50	1	24.50	5.46	0.0348
BD	30.80	1	30.80	6.87	0.0202
CD	17.64	1	17.64	3.93	0.0674
A ²	179.58	1	179.58	40.02	<0.0001
B ²	94.24	1	94.24	21.00	0.0004
C ²	33.55	1	33.55	7.48	0.0161
D ²	92.40	1	92.40	20.59	0.0005
模型	828.23	14	59.16	13.18	<0.0001
残差	62.82	14	4.49		
失拟项	51.04	10	5.10	1.73	0.3137
误差项	11.77	4	2.94		
总和	891.04	28			

糖量与羧甲基纤维素钠量对饮料的感官评分影响显著。

2.7 验证实验

通过对二次多项回归拟合方程进行极值分析,确定雪樱子石榴复合饮料的组分最佳参数为:雪樱子

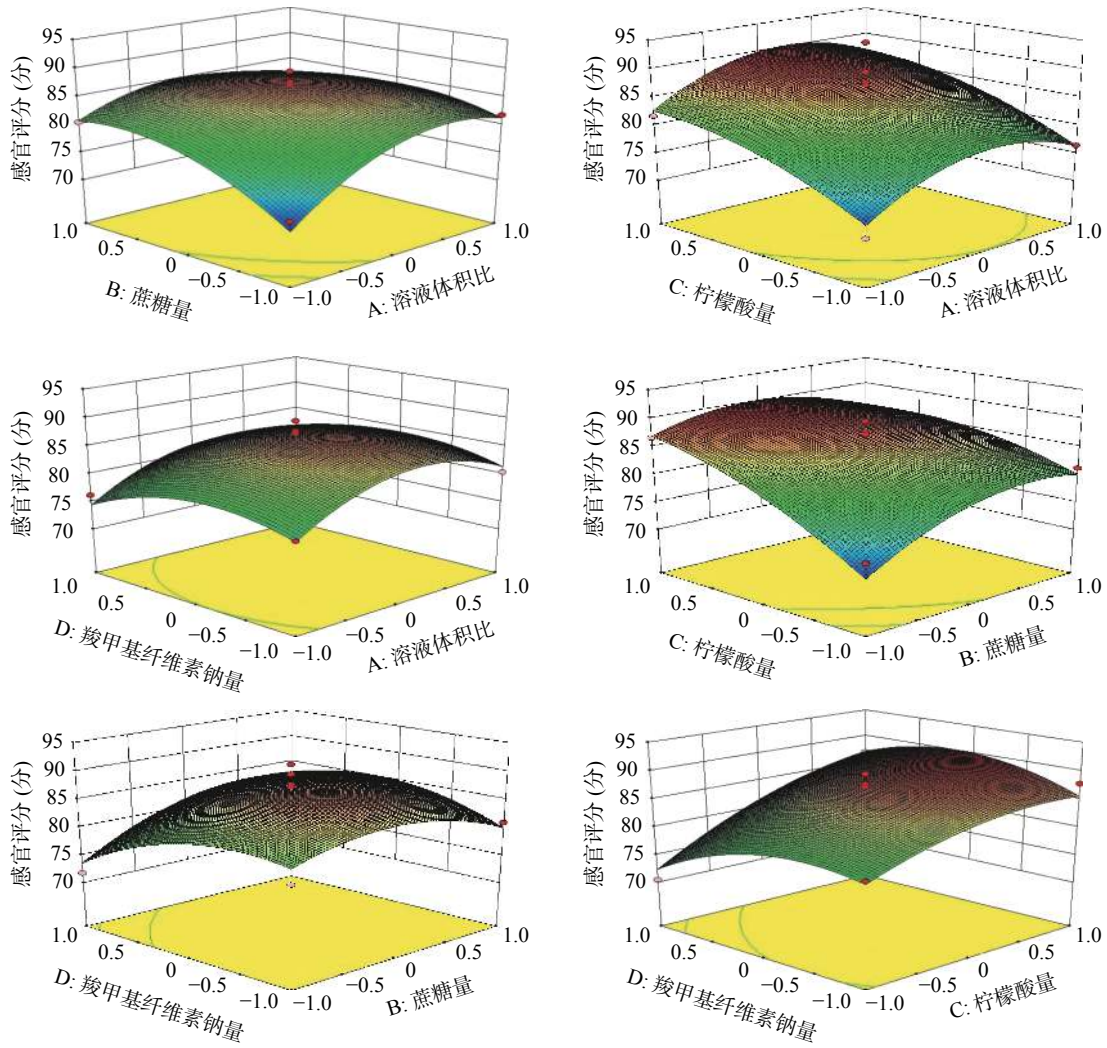


图 5 两种因素交互作用的响应面

Fig.5 Response surface of the interaction effect between two factors

多糖液与石榴汁的体积比为 2:5、蔗糖量 4.5%、柠檬酸量 0.4%、羧甲基纤维素钠量 0.06%。在该最佳条件下,复合饮料的感官评分为 89.8 分,既与预测值 90.5 分相近,也与实验 9 结果相近,这归因于单因素试验次数有限,表明该模型预测具有一定可靠性。

2.8 产品品质结果

2.8.1 感官品质 采用最佳组分参数制得的复合饮料呈紫红色、色泽均一旦光亮,口感酸甜适中,无异味,具有雪樱子多糖与石榴果实的混合香味,静置后未有明显沉淀与分层。

2.8.2 理化与微生物指标 在 18 个月内,该饮料的 pH 为 4.8~5.9;可溶性固形物为 8.2%~17.7%;离心沉淀率 1.03%;菌落总数 ≤ 100 CFU/mL,未检出大肠杆菌和其它致病菌,符合运动饮料国家标准^[27]。

2.9 复合饮料对负重游泳时间影响

表 5 为各组动物的力竭游泳时间,与空白对照组相比,各剂量组动物的力竭游泳时间,均明显延长,其中低剂量组差异显著($P < 0.05$),而中、高剂量组差异极显著($P < 0.01$),表明雪樱子石榴复合饮料有助于缓解机体疲劳,增强其运动耐力,且在一定浓度范围

表 5 复合饮料对小鼠力竭游泳时间的影响($n=10, \bar{x} \pm SD$)

Table 5 Effect of composite beverage on exhaustive swimming time of mice ($n=10, \bar{x} \pm SD$)

组别	游泳时间(min)
空白对照组	16.25±1.43
低剂量组	17.41±1.51*
中剂量组	19.22±1.18**
高剂量组	20.36±1.39**

注:与空白对照组相较,*差异显著, $P < 0.05$,**差异极显著, $P < 0.01$ 。表6同。

内,与饮料的剂量呈正相关。

2.10 饮料对小鼠血清中乳酸与尿素氮含量影响

当机体能量供给紧张时,血糖会发生无氧酵解,生成乳酸,而乳酸电离的氢离子使得肌肉与血液的 pH 降低,从而阻碍神经兴奋的传递,产生机体疲劳^[28],同时体内的蛋白质与氨基酸也会加快分解,使得血清尿素氮含量急剧升高^[29],因此将动物运动后血清中乳酸和尿素氮含量作为间接反映机体疲劳程度的指标。

表 6 为各组动物运动后体内的乳酸与尿素氮含量,从表 6 可见,不同剂量组的动物体内乳酸含量

分别与空白对照组相比,分别下降7.8%、14.3%和28.4%,低剂量组差异显著($P<0.05$),而中、高剂量组差异极显著($P<0.01$);同时不同剂量组的动物体内尿素氮浓度分别与空白对照组相比,分别下降8.1%、18.1%和24.2%,低剂量组差异显著($P<0.05$),而中、高剂量组差异极显著($P<0.01$),因此可知,雪樱子石榴复合饮料有助于加快运动后体内乳酸清除,并减少运动时体内蛋白质的分解。

表6 复合饮料对乳酸和尿素氮含量的影响($n=10, \bar{x}\pm SD$)
Table 6 Effect of composite beverage on the content of BUN and BLA in mice ($n=10, \bar{x}\pm SD$)

组别	BLA(mmol/L)	BUN(mmol/L)
空白对照组	11.11±0.86	13.02±1.13
低剂量组	10.24±0.91*	11.97±0.88*
中剂量组	9.52±1.05**	10.66±0.82**
高剂量组	7.95±0.84**	9.87±0.95**

3 结论

本研究以雪樱子多糖为原料,并与石榴汁复配,研制得到雪樱子石榴复合饮料,发现其抗运动性疲劳效果较好。在单因素试验的基础上,通过响应面试验确定雪樱子石榴复合饮料的最佳配方参数,即雪樱子多糖液与石榴汁的体积比为2:5、蔗糖量4.5%、柠檬酸量0.4%、羧甲基纤维素钠量0.06%,制得饮料呈紫红色、色泽均一旦光亮,口感酸甜适中,无异味,具有雪樱子多糖与石榴果实的混合香味,静置后未有明显沉淀与分层,感官评分89.8分。从动物实验结果可知,雪樱子石榴复合饮料可明显延长动物的负重游泳时间,减少运动时机体的乳酸累积,并减少体内蛋白质的分解,可见其抗疲劳作用较好,有利于在相关食品领域推广,但其在体内的具体抗疲劳机制,尚需进一步研究。

参考文献

- [1] Martinez-Lopez A, Millan-Linares M C, Rodriguez-Martin N M, et al. Nutraceutical value of kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.)[J]. *J Funct Foods*, 2020, 65: 1-13.
- [2] 覃丽清. 雪樱子抗氧化、抗肿瘤活性筛选及化学成分的研究[D]. 南宁: 广西师范大学, 2015.
- [3] Bruni R, Medici A, Guerrini A, et al. Wild *Amaranthus caudatus* seed oil, a nutraceutical resource from Ecuadorian flora[J]. *J Agric Food Chem*, 2001, 49(11): 5455-5460.
- [4] Jo H J, Chung K H, Yoon J A, et al. Radical scavenging activities of tannin extracted from Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.)[J]. *J Microbiol Biotechnol*. 2015, 25(6): 795-802.
- [5] Ashok Kumar B S, Lakshman K, Arun Kumar P A, et al. Hepatoprotective activity of methanol extract of *Amaranthus caudatus* Linn. against paracetamol-induced hepatic injury in rats[J]. *Chin J Integr Med*, 2011, 9(2): 194-200.
- [6] 姚宏亮, 孔聪聪, 颜玉华. 雪樱子粗多糖提取、纯化工艺及抗氧化活性研究[J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(2): 102-110.
- [7] Teng Y S, 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 J M, 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] 王永志. 葛根黑米运动饮料工艺优化及其抗疲劳活性研究[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(12): 35-39.
- [10] 陈津津, 冯嘉诚. 枸杞杏鲍菇复合运动饮料的研制[J]. *食品工业*, 2020, 41(5): 142-146.
- [11] 张卓睿, 毛迪锐, 高晗, 等. 蓝莓花青素对小鼠抗疲劳及体内抗氧化作用[J]. *食品科学*, 2017, 38(21): 207-211.
- [12] 袁铭, 王慧慧, 伍亚华, 等. 红枣石榴汁复合保健饮料制作及其感官评价[J]. *农产品加工*, 2018(12): 6-8.
- [13] 覃宇悦, 孙莎, 程春生, 等. 玫瑰花石榴汁复合饮料加工工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(3): 173-175.
- [14] 李娟, 陈美珍, 张玉强, 等. 坛紫菜番石榴复合饮料的研制[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(9): 54-58.
- [15] 何超红, 魏丕伟, 胡告, 等. 铁皮石斛复合饮料的研制[J]. *保鲜与加工*, 2018, 18(1): 52-58.
- [16] 王丹丹, 段红梅, 王顺余, 等. 长白椴木果实玫瑰花复合饮料的研制[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(3): 85-91.
- [17] 迟明梅, 刘秋华. 红枣山楂芦荟复合饮料的研制[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(9): 202-207.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会. GB 4789.1-2016 食品安全国家标准食品微生物学检验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [19] Tan W, Yu K Q, Liu Y Y, et al. Antifatigue activity of polysaccharides extract from *Radix Rehmanniae Preparata*[J]. *Int J Biol Macromol*, 2012, 50: 59-62.
- [20] Wang J, Li S S, Fan Y Y, 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.
- [21] 刘雪峰, 刘雪梅, 杨铭, 等. 参精运动保健饮料抗疲劳作用[J]. *食品科技*, 2018, 43(4): 92-96.
- [22] 朱晓亚. 天门冬总皂苷提取物的纯化及体内抗疲劳作用研究[J]. *食品科技*, 2019, 44(9): 263-269.
- [23] 熊亚, 李敏杰. 响应面法优化辣木花绿茶饮料的制作工艺[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(22): 117-123.
- [24] 孔祥辉, 李定金, 罗舒函, 等. 猴头菇山楂饮料制备工艺及稳定性研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(7): 154-160.
- [25] Sungsoe R, Insoo R, Sejong O. Improving the quality of response surface analysis of an experiment for coffee-supplemented milk beverage: I. data screening at the center point and maximum possible R-Square[J]. *Food Sci Anim Resour*, 2019, 39(1): 114-120.
- [26] 王舸楠, 刘维兵, 王雪薇, 等. 响应面法优化复合菌种发酵葡萄玫瑰花饮品及其抗氧化能力的测定[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(15): 311-317.
- [27] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. GB15266-2009 运动饮料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [28] Ni W H, Gao T T, Wang H L, et al. Anti-fatigue activity of polysaccharides from the fruits of four Tibetan plateau indigenous medicinal plants[J]. *J Ethnopharmacol*, 2013, 150(2): 529-535.
- [29] Yang D S, Lian J H, Wang L Y, et al. The anti-fatigue and anti-anoxia effects of *Tremella* extract[J]. *Saudi J Biol Sci*, 2019, 26(8): 2052-2056.