

# 牛磺酸多糖肽运动饮品的制作工艺优化及 抗疲劳作用研究

郭浩然\*

(四川师范大学体育学院, 成都 610101)

**摘要:** **目的** 优化牛磺酸多糖肽运动饮品制作工艺并研究其对体能恢复的作用。**方法** 对多糖肽添加量、牛磺酸添加量、蔗糖添加量、苹果酸添加量等 4 个因素进行单因素试验, 在此基础上进行正交试验。并通过比较主观体能评分、 $VO_{2max}$ 、血乳酸、血尿酸、血尿素氮和总超氧化物歧化酶含量等指标, 来研究该饮品的抗疲劳作用。**结果** 最佳工艺条件为多糖肽添加量 1.2%、牛磺酸添加量 1.5%、蔗糖添加量 1.9%、苹果酸添加量 0.06%, 并且饮用此饮品的试验组体力量恢复效果优于对照组运动员。**结论** 牛磺酸多糖肽运动饮品可以提高运动后体能恢复和缓解运动疲劳的能力。

**关键词:** 多糖肽; 牛磺酸; 运动饮品; 抗疲劳; 体能恢复

## Optimization of the production technology of taurine polysaccharide peptide sports drinks and study on anti-fatigue effect

GUO Hao-Ran\*

(College of Physical Education, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China)

**ABSTRACT: Objective** To optimize the production technology of taurine polysaccharide peptide sports drinks and study its impact on physical recovery. **Methods** The amount of polysaccharide peptide addition, taurine addition, sucrose addition and malic acid addition were optimized by single factor experiment, and on this basis, the orthogonal experiment was carried out. The anti-fatigue effect of the drink was studied by comparing the subjective physical fitness score,  $VO_{2max}$ , blood lactic acid, blood uric acid, blood urea nitrogen and total superoxide dismutase. **Results** The optimum process conditions were as follows: the amount of polysaccharide peptide 1.2%, taurine addition 1.5%, the amount of sucrose 1.9%, and the amount of malic acid 0.06%. And the recovery effect of body capacity of the experimental group was better than that of the control group. **Conclusion** The taurine polysaccharide peptide sports drink can improve the ability to recover and relieve sports fatigue after exercise.

**KEY WORDS:** polysaccharide peptide; taurine; sport drink; anti-fatigue; physical recovery

## 1 引言

运动饮品是根据人体运动时生理消耗的特点, 针对性地补充运动时丢失的营养, 起到持续保持和提高身体机

能, 消除运动后疲劳的一类饮料<sup>[1-3]</sup>。在众多传统饮品的销售量萎缩的情况下, 这类功能饮品却异军突起, 销售量逐步上升<sup>[4-6]</sup>。这得益于人们消费观念的成熟, 对功能饮品健康理念的肯定。因此运动方面的功能饮品前景非常广阔,

\*通讯作者: 郭浩然, 硕士, 主要研究方向为体育运动训练, 体育教育。E-mail: ghrdadda@163.com

\*Corresponding author: GUO Hao-Ran, Master, Sichuan Normal University, No. 351 Waidong Honghe Middle Road, Chengdu 610101, China. E-mail: ghrdadda@163.com

适时地开发新的运动饮品,并具有抗疲劳、提高运动能力的功能,既符合现代消费者的消费需求也符合当今软饮料的发展方向,对市场发展有着很大的意义<sup>[7-9]</sup>。

近年来多糖肽活性的研究逐渐受到关注,研究证明多糖肽的药理活性相当广泛,不仅具有增强免疫力、抗肿瘤、抗氧化等作用,还可以提高人类机体的耐缺氧能力<sup>[10-13]</sup>。本研究以铁棍山药制得的多肽糖溶液为原料,它是铁棍山药的有效成分之一<sup>[14-16]</sup>,是多糖与蛋白质的复合体,是一种安全性多糖肽<sup>[17-21]</sup>,并辅以适当的牛磺酸、蔗糖、苹果酸,添加复合维生素基料,优化工艺配方,研制出口感较佳的具有抗疲劳、抗氧化等功能性的牛磺酸多糖肽运动饮品。通过单因素试验以及响应面设计,确定最优配方,并通过运动员的体能恢复效果试验研究该饮品的抗疲劳效果,以期多糖肽饮品开发提供参考。

## 2 材料与方 法

### 2.1 仪器与试剂

铁棍山药多糖肽提取液(试验室提供,多糖肽含量 0.42 mg/mL,铁棍山药由市场上购买);蔗糖(一级,广西广西蔗糖厂);牛磺酸、苹果酸(食用级,湖北味自然生物科技有限公司);复合维生素(维生素 C 0.5%、维生素 B<sub>1</sub> 0.01%、维生素 B<sub>6</sub> 0.005%、维生素 B<sub>12</sub> 0.008%、肌醇 0.015%,江苏艾然生物科技有限公司)

### 2.2 仪器与设备

LD5-10B 大容量离心机(湖南湘仪有限公司);DS-1 高速组织捣碎机(上海标本模型厂);MC-128 电热恒温水浴锅(宁波试验仪器厂);Bilon-09 均质机(无锡市科尔仪器设备有限公司);R611 超高温瞬时灭菌仪(苏州得科机械设备有限公司);SF-SA 微滤设备(杭州珀瑞分离技术有限公司)。

### 2.3 试验方法

#### 2.3.1 工艺流程

饮品以多糖肽提取液为原料,加入牛磺酸、蔗糖、苹果酸、复合维生素基料等调配、均质;再经过离心、除杂、过滤工艺后,利用巴氏杀菌后灌装得到成品。

#### 2.3.2 工艺要点

调配;将基料(氯化钠 0.03%、葡萄糖 0.5%、维生素 C 0.5%、维生素 B<sub>1</sub> 0.01%、维生素 B<sub>6</sub> 0.005%、维生素 B<sub>12</sub> 0.008%、肌醇 0.015%)加入到多糖肽提取液中,并与牛磺酸、蔗糖、苹果酸进行调配。

均质;将调配好的饮品进行高速均质,使得后期饮品不会产生沉淀。

离心、除杂;离心速度控制在 12000 r/min。

过滤;将配制好的饮品静置过夜,取上清液进行过滤;真空度为 0.08~0.10 Mpa,滤膜孔径为 0.22 μm。

巴氏杀菌;温度控制在(110±0.5) °C,35 s,效果最佳。

灌装;灌装温度控制在(85±0.5) °C,灌装完成后,迅速冷却至室温,保存备用。

#### 2.3.3 单因素试验

本试验的试样暂定包装规格为 350 mL,分别考察多糖肽添加量、牛磺酸添加量、蔗糖添加量以及苹果酸添加量等 4 个因素对该饮品综合感官评分的影响。

#### 2.3.4 正交优化试验

基于单因素试验基础上,以多糖肽添加量、牛磺酸添加量、蔗糖添加量以及苹果酸添加量等 4 个因素为基础,采用 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验方案设计,优化该饮品的生产工艺配方,试验因素与水平见表 1。

表 1 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)因素与水平  
Table 1 Factors and levels of L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)

水平	A 多糖肽 添加量/%	B 牛磺酸 添加量/%	C 蔗糖 添加量/%	D 苹果酸 添加量/%
1	0.9	1.2	1.7	0.06
2	1.2	1.5	1.8	0.09
3	1.5	1.8	1.9	0.12

### 2.4 综合感官评价

本研究的评价标准以感官评价为主,分别从色泽、香气、口感、组织沉淀等 4 个方面对饮品进行综合感官评定<sup>[22,23]</sup>,总分 100 分,分别选取 10 名男性和 10 名女性试饮该饮品,年龄为 20~40 周岁之间,感官评分标准如表 2。

表 2 综合感官评分标准表  
Table 2 Table of comprehensive sensory score standard

色泽(30 分)	香气(30 分)	口感(30 分)	组织沉淀(10 分)
颜色透亮,无杂色(20~30 分)	香气温和, 气味柔和(20~30 分)	口感适宜,酸味柔和(20~30 分)	无杂质、沉淀,澄清透明(8~10 分)
透明度不够, 过深或过浅(10~20 分)	香气淡或者浓(10~20 分)	口感稍差, 略酸或略甜(10~20 分)	有轻微浑浊或杂质(5~8 分)
颜色暗淡(0~10 分)	无明显香气, 或者有异味(0~10 分)	有苦味或过酸、过甜等(0~10 分)	有杂质,或有较多的沉淀(0~5 分)

## 2.5 对运动后体能恢复的影响试验

本试验随机选择 20 名在校大学生运动员, 男性, 年龄均为 22 周岁, 每组 10 人, 随机分成试验组和对照组 2 组。试验组每天服用牛磺酸多糖肽运动饮品 2 次, 每次 350 mL, 对照组饮用相同数量的纯水作为对照, 具体训练流程如下:

体育训练 30 d → 休息 7 d → 晨起检测 → 第 1 次训练 → 晨起检测 → 第 2 次训练 → 晨起检测 → 第 3 次训练 → 试验结束

参试人员的主观体能力量评分方法如表 3 所示。

表 3 主观体能力量评分表

Table 3 The table of subjective physical and strength grade

状态描述	评分
未消耗体能, 力量正常	1 分
轻度消耗体能	3 分
中度消耗体能, 力量减弱	5 分
重度消耗体能, 力量减弱明显	7 分
体力量消耗严重, 有轻微疲劳感觉	9 分
体力量消耗严重, 有中度疲劳感觉	11 分
体力量消耗严重, 有重度疲劳感觉	13 分

### 2.5.1 最大摄氧量( $VO_{2max}$ )测试

在休息 7 d 后和第 3 次训练结束后 1 d 进行  $VO_{2max}$  测试, 测试方法采用功率自行车计算法, 记录两组  $VO_{2max}$  数值。

### 2.5.2 血乳酸、血尿酸、血尿素氮和总超氧化物歧化酶含量指标的测定

在第 3 次训练后分别抽血进行血乳酸、血尿酸、血尿素氮和总超氧化物歧化酶含量指标的测定, 记录并比较 2 组数值差异。

## 2.6 统计学处理

数据统计分析采用 SPSS19.0 统计软件处理, 多组之间采用方差分析比较<sup>[24]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 多糖肽添加量的选择

本试验暂定牛磺酸多糖肽运动饮品的包装规格为 350 mL, 固定牛磺酸添加量 1.8%, 蔗糖的添加量 1.6%, 苹果酸添加量 0.15%, 考察多糖肽的添加量 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%、1.8%、2.1%、2.4% 时的综合感官评分。

结果如图 1 所示, 多糖肽的添加量对综合感官评分的影响呈现先增大后减小的趋势; 并在添加量为 1.2% 时, 牛磺酸多糖肽运动饮品的综合感官评分最高, 此时饮品的味道甘甜, 口感较佳; 继续增加多糖肽的量, 饮品的口感迅速下降, 有很浓的山药药味和口感, 所以多糖肽的添加量选择 0.9%~1.5% 之间较适宜。

### 3.2 牛磺酸添加量的选择

固定多糖肽添加量为 1.2%、蔗糖添加量为 1.6%、苹果酸添加量 0.15% 时, 考察牛磺酸添加量为 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%、1.8%、2.1%、2.4% 时的综合感官评分。

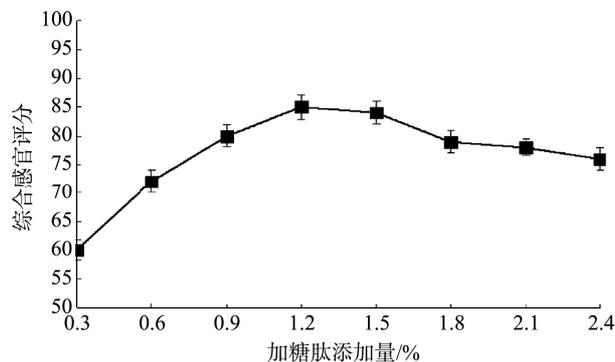


图 1 多糖肽添加量对饮品感官评分的影响( $n=5$ )

Fig.1 Effect of polysaccharide peptide content on comprehensive sensory score of beverage ( $n=5$ )

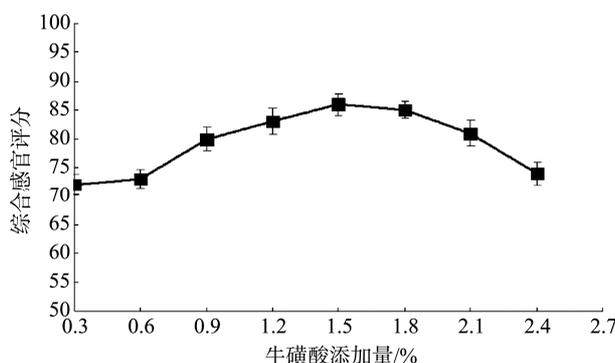


图 2 牛磺酸添加量对饮品感官评分的影响( $n=5$ )

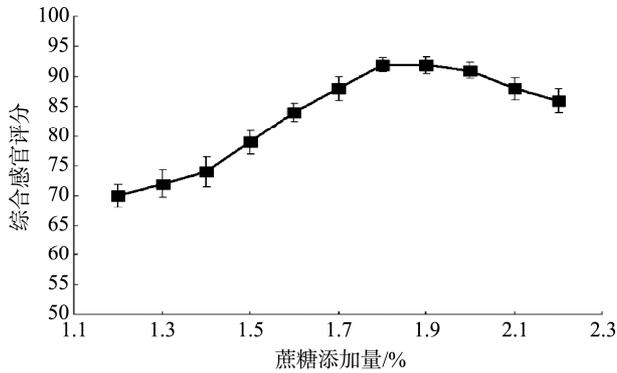
Fig.2 Effect of Lrhizoma polygonatum content on comprehensive sensory score of beverage ( $n=5$ )

由图 2 结果可知, 牛磺酸的添加量对综合感官评分的影响也是呈现先增大后减小的趋势; 并在牛磺酸添加量为 1.5% 时, 饮品的综合口感评分最高, 此时饮品中有适宜的牛磺酸香味, 口感香甜; 再增加牛磺酸的量对饮品的口感改善不大, 所以牛磺酸添加量选择 1.2%~1.8% 之间较适宜。

### 3.3 蔗糖添加量的选择

固定多糖肽添加量为 1.2%、牛磺酸添加量为 1.5%、苹果酸添加量 0.15% 时, 考察蔗糖添加量为 1.2%、1.3%、1.4%、1.5%、1.6%、1.7%、1.8%、1.9%、2.0%、2.1%、2.2% 的综合感官评分得分, 结果见图 3。

由图 3 结果可知, 发现牛磺酸多糖肽运动中蔗糖添加量为 1.8% 时, 饮品的综合口感评分最高, 此时饮品微甜, 可以掩盖住两种原料的苦味; 再增加蔗糖的量, 饮品的甜度会增加, 但是对饮品的整体感官评分改善不大, 甚至下降, 所以蔗糖添加量选择 1.7%~1.9% 之间较适宜。

图3 蔗糖添加量对饮品综合感官评分的影响( $n=5$ )Fig.3 Effect of sucrose content on comprehensive sensory score of beverage ( $n=5$ )

### 3.4 苹果酸添加量的选择

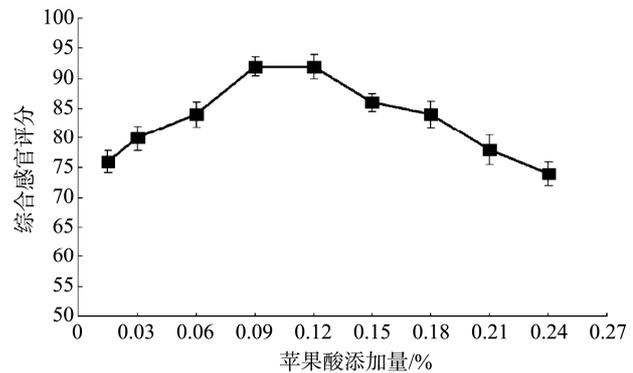
固定多糖肽添加量为1.2%、牛磺酸添加量为1.5%、蔗糖的添加量1.8%时,考察苹果酸添加量为0.015%、0.03%、0.06%、0.09%、0.12%、0.15%、0.18%、0.21%、0.24%的综合感官评分得分,结果见图4。

由图4结果可知,发现牛磺酸多糖肽运动饮品中苹果酸的添加量为0.09%时,饮品的综合感官评分最高,此时饮品的口感酸甜适宜,没有苦味,口感较好;再增加苹果酸,饮品的口感酸度增加,感到不适,综合感官评分降低,所以苹果酸添加量选择0.06%~0.12%之间较适宜。

### 3.5 正交试验优化牛磺酸多糖肽运动饮品的生产配方

正交试验方案及结果分析如表4所示。

结果如表4所示,从综合感官评分均值及极差分析结果来看,4个因素对牛磺酸多糖肽运动饮品的感官评分影响顺序分别为多糖肽添加量>牛磺酸添加量>苹果酸添加量>蔗糖添加量。所以多糖肽添加量对牛磺酸多糖肽运动饮品的综合感官影响最大,其次为牛磺酸添加量,最后为苹果酸添加量和蔗糖添加量。另外从试验的综合感官评分来看,4种因素最佳组合为 $A_2B_2C_3D_1$ ,即当多糖肽添加量为1.2%时,牛磺酸添加量1.5%,蔗糖的添加量1.9%,并含有苹果酸的添加量为0.06%时,牛磺酸多糖肽运动饮品的综合感官较佳。

图4 苹果酸添加量对饮品综合感官评分的影响( $n=5$ )Fig.4 Effect of malic acid content on comprehensive sensory score of beverage ( $n=5$ )

### 3.6 主观判断运动后力量恢复情况

主观体能力量评分结果见表5。

表4  $L_9(3^4)$ 正交试验方案及结果分析  
Table 4 Program and results analysis of  $L_9(3^4)$  orthogonal test

水平	A 多糖肽添加量/%	B 牛磺酸添加量/%	C 蔗糖添加量/%	D 苹果酸添加量/%	综合感官评分
$A_1B_1C_1D_1$	1(0.9)	1(1.2)	1(1.7)	1(0.06)	80
$A_1B_2C_2D_2$	1	2(1.5)	2(1.8)	2(0.09)	89
$A_1B_3C_3D_3$	1	3(1.8)	3(1.9)	3(0.12)	82
$A_2B_1C_2D_3$	2(1.2)	1	2	3	93
$A_2B_2C_3D_1$	2	2	3	1	99
$A_2B_3C_1D_2$	2	3	1	2	91
$A_3B_1C_3D_2$	3(1.5)	1	3	2	84
$A_3B_2C_1D_3$	3	2	1	3	86
$A_3B_3C_2D_1$	3	3	2	1	80
均值 1	84	86	86	86	
均值 2	94	91	87	88	
均值 3	83	84	87	87	
极差	11	7	1	2	感官评分的均值及极差

表 5 主观体力量评分结果( $n=5$ )  
Table 5 Results of subjective physical and strength grading ( $n=5$ )

组别	检测时间	评分
试验组	试验前	11.32±0.46
	试验后	14.26±1.02*
对照组	试验前	11.47±0.86
	试验后	34.14±1.26**

注: \*组内比较, 差异显著,  $P<0.05$ ; \*\*组内比较, 差异极显著,  $P<0.01$ 。

如表 5 结果显示, 试验组人员在试验前后体力量评分差异较小, 而对照组人员试验前后体力量评分差异显著; 两组比较, 试验组人员主观体力量评分显著降低。结果证明, 主观上试验组运动员体力量恢复效果优于对照组运动员。

### 3.7 $VO_{2max}$ 变化情况

$VO_{2max}$  检测结果见表 6。

如表 6 结果显示, 试验组人员在试验前后的  $VO_{2max}$  差异较小, 而对照组人员试验开始前后的  $VO_{2max}$  差异显著; 两组间比较, 对照组人员  $VO_{2max}$  显著降低。结果证明, 通过比较  $VO_{2max}$ , 试验组运动员体力量恢复效果优于对

照组运动员。

表 6  $VO_{2max}$  检测结果( $n=5$ )  
Table 6 Results of  $VO_{2max}$  test ( $n=5$ )

组别	检测时间	$VO_{2max}$
试验组	试验前	11.52±0.56
	试验后	10.79±0.81
对照组	试验前	11.56±0.54
	试验后	7.21±0.31**

注: \*\*组内比较, 差异极显著,  $P<0.01$ 。

### 3.8 试验对象血液样本检测结果分析

血液检测结果见表 7。

结果如表 7 所示, 试验组人员在试验前后的血乳酸、血尿酸、血尿素氮和总超氧化物歧化酶等 4 项指标数值差异较小, 而对照组人员在试验前后的 4 项差异显著, 其中血乳酸、血尿酸、血尿素氮等 3 项指标数值在试验后出现显著增加, 而总超氧化物歧化酶指标数值在试验后出现显著减少; 组间比较, 试验组人员在试验后血乳酸、血尿酸、血尿素氮等 3 项指标数值显著低于对照组人员, 总超氧化物歧化酶指标数值显著高于对照组人员。结果表明, 通过比较血液样本检测结果, 试验组运动员体力量恢复效果优于对照组运动员。

表 7 血液检测结果( $n=5$ )  
Table 7 Results of blood test ( $n=5$ )

组别	检测时间	血乳酸/(mmol/L)	血尿酸/(mmol/L)	血尿素氮/(mmol/L)	总超氧化物歧化酶/(mg/L)
试验组	试验前	0.679±0.027	0.214±0.009	4.625±0.211	0.563±0.036
	试验后	0.752±0.013	0.221±0.012	5.142±0.367	0.645±0.024
对照组	试验前	0.681±0.034	0.215±0.014	4.627±0.219	0.562±0.031
	试验后	1.242±0.067**	0.389±0.027**	7.445±0.45**	0.341±0.014**

注: \*\*组内比较, 差异极显著,  $P<0.01$ 。

## 4 结 论

本研究优化了牛磺酸多糖肽运动饮品的制作工艺, 分别研究了多糖肽的用量、牛磺酸的用量、蔗糖的添加量、苹果酸的添加量对牛磺酸多糖肽运动饮品综合感官的影响。试验结果表明, 当牛磺酸多糖肽运动饮品的包装规格为 350 mL 时, 多糖肽的用量为 1.2%、牛磺酸用量为 1.5%、蔗糖的添加量为 1.9%、苹果酸的添加量为 0.06% 时饮品的综合感官较优。试验还通过比较试验前后主观体力量评分、 $VO_{2max}$ 、血乳酸、血尿酸、血尿素氮和总超氧化物歧化酶等指标, 证明服用牛磺酸多糖肽运动饮品有助于体能恢复和缓解运动疲劳, 具有一定的商业开发价值, 值得

进一步深入研究推广。

### 参考文献

- [1] 罗魏, 刘学文. 功能性饮料的发展现状及展望[J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 418-421.  
Luo W, Liu XW. Development status and prospect of functional beverages [J]. Food Ind Sci Technol, 2011, 32(2): 418-421.
- [2] 冯丽莎, 樊丹敏. 玛咖普洱茶复合饮料的研制[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(1): 70-74.  
Feng LS, Fan DM. Development of Maca Puer tea compound beverage [J]. Stor Proc, 2017, 17(1): 70-74.
- [3] 范铮, 黄真颖, 张国. 羊栖菜复合饮料的研制[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(12): 69-73.  
Fan Z, Huang ZY, Zhang G. Development of compound beverage of

- sargassum fusiforme [J]. Food Res Dev, 2016, 37(12): 69–73.
- [4] 傅圣斌, 钱建鸿, 陈乐意, 等. 黄精多糖的提取及其对小鼠免疫活性的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 12(1): 68–72.  
Fu SB, Qian JH, Chen LY, *et al.* Extraction of polygonatum polysaccharide and its effect on immune activity in mice [J]. Chin J Food, 2013, 12(1): 68–72.
- [5] 张国强, 郭晓东. 西藏野生卷叶黄精多酚的提取及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2017, 10(6): 236–241.  
Zhang GQ, Guo XD. Extraction and antioxidant activity analysis of polyphenols from Tibetan wild polygonatum cirrhosum [J]. Food Sci, 2017, 10(6): 236–241.
- [6] 张春蕊, 董金泉, 冯雪瑶, 等. 玉米须多糖饮品的研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(17): 9–13.  
Zhang CR, Dong JQ, Feng XY, *et al.* Study on corn silk polysaccharide drinks [J]. Food Res Dev, 2014, 35(17): 9–13.
- [7] 贾艳萍, 赵晴潇, 郑胜. 芦荟保健功能性饮料的研制[J]. 中国酿造, 2012, 31(4): 197–199.  
Jia YP, Zhao QX, Zheng S. Development of aloe health functional beverage [J]. China Brew, 2012, 31(4): 197–199.
- [8] 吴骏, 夏道宗, 吴晓敏. 紫薯原花青素复合功能性饮料的研制[J]. 现代食品科技, 2012, 28(12): 1739–1742.  
Wu J, Xia DZ, Wu XM. Development of purple potato proanthocyanidin complex functional beverage [J]. Mod Food Sci Technol, 2012, 28(12): 1739–1742.
- [9] 林标声, 罗茂春. 蛹虫草-山楂复合保健饮料的研制[J]. 食品科学, 2013, 34(4): 293–297.  
Lin BS, Luo MC. Development of cordyceps militaris-hawthorn compound health drink [J]. Food Sci, 2013, 34(4): 293–297.
- [10] 田海娟, 王蕾, 朴春红. 人参枸杞复配发酵饮品的研制[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(18): 87–90.  
Tian HJ, Wang L, Pu CH. Development of compound fermented beverage of ginseng and *Lycium barbarum* [J]. Food Res Dev, 2015, 36(18): 87–90.
- [11] 孙玉敬, 钟烈州. 枸杞植物化学成分及其生物活性的研究进展[J]. 中国食品学报, 2013, (8): 161–172.  
Sun YJ, Zhong LZ. Advances in the study of chemical constituents and biological activities of *Lycium barbarum* [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2013, (8): 161–172.
- [12] 易美君, 姚丽敏, 孙宏伟, 等. 红树莓薏米复合保健饮料的研制及稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 248–252.  
Yi MJ, Yao LM, Sun HW, *et al.* Study on the development and stability of compound health beverage of red raspberry and coix [J]. Food Ind Sci Technol, 2014, 35(5): 248–252.
- [13] 刘蒙佳, 周强, 林葛群, 等. 开菲尔板栗发酵乳的工艺[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(7): 241–245.  
Liu MG, Zhou Q, Lin GQ, *et al.* Processing of Kefir chestnut fermented milk [J]. Food Ferment Ind, 2014, 40(7): 241–245.
- [14] 王彦平, 汤高奇, 谢克英, 等. 铁棍山药主要活性成分提取纯化技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(17): 356–359.  
Wang YP, Tang GQ, Xie KY, *et al.* Research progress on the extraction and purification of main active components of *Ziziphus japonica* [J]. Food Ind Sci Technol, 2016, 37(17): 356–359.
- [15] 王素梅, 梁进, 张梁, 等. 大麦红茶泡腾片的研制[J]. 食品工业科技, 2013, 34(18): 291–293.  
Wang SM, Liang J, Zhang L, *et al.* Development of barley black tea effervescent tablets [J]. Food Ind Sci Technol, 2013, 34(18): 291–293.
- [16] Cai JG, Chen JG, He H, *et al.* Carbonyl stress: Malondialdehyde induces damage on rat hippocampal neurons by disturbance of  $Ca^{2+}$  homeostasis [J]. Cell Biol Toxicol, 2009, 25(6): 435–445.
- [17] 吴谋成. 食品分析与感官评定[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.  
Wu MC. Food analysis and sensory evaluation [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2002.
- [18] 张晓鸣. 食品感官评定[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.  
Zhang XM. Food Sensory Assessment [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2006.
- [19] Simpson RJ, Wilson MR, Black JR, *et al.* Immune alterations, lipid peroxidation, and muscle damage following a hill race [J]. Can J Appl Physiol, 2015, 30(2): 196–211.
- [20] Baker JS, Bailey DM, Hullin D, *et al.* Metabolic implications of resistive force selection for oxidative stress and markers of muscle damage during 30s of high-intensity exercise [J]. Eur J Appl Physiol, 2014, 92(3): 321–327.
- [21] 张胜帮, 赵玲玲. 淡竹叶中总黄酮和多糖的微波提取与含量测定[J]. 食品科学, 2016, (10): 61–65.  
Zhang SB, Zhao LL. Microwave extraction and determination of total flavonoids and polysaccharides in leaves of *Phyllostachys edulis* [J]. Food Sci, 2016, (10): 61–65.
- [22] 欧阳明子. 维康颗粒对肿瘤相关性疲劳小鼠的影响及机制研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2013.  
Ouyang MZ. Weikang granules on tumor-related fatigue mice and its mechanisms [D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2013.
- [23] 张蕴琨. 运动性中枢疲劳的影响因素及其机制研究进展[J]. 体育科研, 2013, 34(3): 33–40.  
Zhang YK. Research progress on influencing factors and mechanism of exercise-induced central fatigue [J]. Sports Res, 2013, 34(3): 33–40.
- [24] Sima J, Povedic J, Hasal P. Decolorization of reactive orange 16 in rotating drum biological contactor [J]. J Environ Chem Eng, 2016, 4(4): 4540–4548.

(责任编辑: 武英华)

## 作者简介

郭浩然, 硕士, 主要研究方向为体育运动训练, 体育教育。

E-mail: ghrdadda@163.com