

响应面法优化沙棘枸杞复合运动饮料配方

李珈骥*

(西安医学院, 西安 710021)

摘要: **目的** 优化沙棘枸杞复合运动饮料的配方。**方法** 在单因素试验基础上, 运用 Box-Benhnken 试验设计原理对影响沙棘枸杞复合运动饮料的主要因素(沙棘汁添加量、枸杞汁添加量、柠檬酸添加量、木糖醇添加量)进行优化研究。**结果** 沙棘枸杞复合运动饮料最佳生产工艺参数为沙棘汁添加量 15%、枸杞汁添加量 26%、柠檬酸添加量 0.17%、木糖醇添加量 8.5%。在此条件下, 复合运动饮料的感官评分为 95 分。**结论** 开发的沙棘枸杞复合运动饮料, 口感酸甜适口, 组织状态稳定, 是适合运动者长期饮用的饮料。

关键词: 沙棘; 枸杞; 响应面法; 运动饮料

Optimization of the recipe of sea buckthorn and wolfberry compound sports drink by response surface methodology

LI Jia-Qi*

(Xi'an Medical College, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the recipe of sea buckthorn and wolfberry compound sports drink. **Methods** On the basis of the single factor experiment, the main factors affecting the seabuckthorn and wolfberry complex sports drink (the amount of seabuckthorn juice added, the amount of wolfberry added, the amount of citric acid added, and the xylitol addition amount) were optimized by the Box-Benhnken experimental design principle. **Results** The optimal production process parameters of seabuckthorn and wolfberry sports drink were 15% of seabuckthorn juice, 26% of wolfberry, 0.17% of citric acid and 8.5% of xylitol. Under this condition, the sensory score of the composite sports drink was 95 points. **Conclusion** The developed seabuckthorn and wolfberry compound sports drink has a sweet and sour taste and a stable tissue state, which is suitable for long-term drinking of sports people.

KEY WORDS: sea buckthorn; wolfberry; response surface methodology; sports beverage

1 引言

沙棘别名酸刺、酸柳、黑刺, 富含多种维生素、矿物质及多种黄酮类化合物, 具有改善血液循环、降低血脂和血压、抗氧化和抗疲劳等作用, 对体液免疫和细胞免疫也有明显的调节作用, 有助于机体运动后的恢复^[1-3]。枸杞作

为我国第一批药食同源食品, 富含甜菜碱、胡萝卜素、多种维生素和微量元素等, 是一种重要的保健品^[4,5]。枸杞中的多糖成分具有抗氧化、保护肝脏、抗衰老、抗肿瘤等药理作用, 是提高运动能力的有效成分^[6,7]。运动后机体内能量物质大量消耗, 造成代谢产物堆积, 以及体内脂质过氧化反应加强, 水盐代谢紊乱, 引起疲劳现象, 含有适量电

基金项目: 青年基金项目(2016QN08)、陕西省教育厅项目(16JK1639)、西安医学院 2018 年配套基金项目 (2018PT48)

Fund: Supported by Youth Fund Project (2016QN08), Project of Shaanxi Province Education Department (16JK1639) and Xi'an Medical College 2018 Supporting Fund Project (2018PT48).

*通讯作者: 李珈骥, 硕士, 主要研究方向为体育教学。E-mail: zhangjiaosha826324@126.com

*Corresponding author: LI Jia-Qi, Master, Lily Home, No. 248, North Park Road, Xincheng District, Xi'an 710021, China. E-mail: zhangjiaosha826324@126.com

解质、糖类的运动饮料应运而生,可以帮助运动员缓解疲劳感及恢复运动能力^[8,9]。但是目前市场上的运动饮料品种配方单一,功能效果参差不齐,因此开发一款口感丰富的运动饮料具有重要的意义。

本研究以沙棘和枸杞为主要原料,添加木糖醇和柠檬酸调节糖度和酸度,利用响应面优化沙棘枸杞复合运动饮料的生产工艺,使其保留各自功能性成分,同时有助于改善饮料的色泽和风味,以期为运动者开发一款可长期饮用饮料。

2 材料及方法

2.1 材料与试剂

沙棘、枸杞(购于西安某大型超市);木糖醇(食品级,上海陆广生物科技有限公司);柠檬酸(食品级,山东丰泰生物科技有限公司)。

2.2 实验仪器与设备

BSA124S 电子分析天平(德国赛多利斯公司);JYZ-E96 型榨汁机(九阳股份有限公司);J-HH-6A 水浴锅(常州诺基仪器有限公司);JJ-1/25 型高压均质机(东莞美特仪器有限公司);HD-GZ300 型灌装机(广州百佳设备有限公司);M372715 型灭菌锅(上海精密仪器仪表有限公司);WYT-32 型手持折光仪(厦门中村光学仪器厂)。

2.3 实验方法

2.3.1 工艺流程

取一定量的沙棘、枸杞,放入水中浸泡 2 h,清洗干净,

进行离心脱水处理,然后加入水的重量为离心脱水后沙棘、枸杞重量的 3 倍,煮沸后维持 30 min,过滤得沙棘汁、枸杞汁,备用。

2.3.2 实验设计

1) 沙棘枸杞复合运动饮料单因素试验

以沙棘汁添加量、枸杞汁添加量、柠檬酸添加量、木糖醇添加量 4 个条件作为影响因素,以复合运动饮料感官评分值为考察指标进行单因素试验。

2) 沙棘枸杞复合运动饮料响应面试验设计

在单因素试验的基础上,以复合运动饮料感官评分(Y)为响应值,对沙棘汁添加量(A)、枸杞汁添加量(B)、柠檬酸添加量(C)、木糖醇添加量(D)的添加量进行响应面优化试验,采用 Design-Expert 软件进行 4 因素 3 水平的响应面设计,将得到的试验数据进行二次多项回归拟合,所做试验均重复 3 次。响应面设计试验因素与水平见表 1。

2.3.3 感官评分标准

请 30 名有食品感官评价经验的专业人员对饮料的感官品质进行评价,以色泽(10 分)、气味(20 分)、组织状态(30 分)和口感(40 分)做指标,对沙棘枸杞复合运动饮料进行感官评分,总计 100 分^[10],具体评分标准见表 2。

2.3.4 产品质量指标检测

可溶性固形物含量、钠钾含量、菌落总数及大肠菌群指标按照 GB 15266-2009 运动饮料^[11]相关标准进行检测。

2.3.5 数据处理方法

单因素试验数据利用 Origin8.5 软件进行处理和分析;响应面优化设计分析利用 Design Expert17.0 软件。

表 1 Box-Behnken 试验设计因素与水平
Table 1 Factors and levels of Box-Behnken design experiments

编码值	A 沙棘汁添加量/%	B 枸杞汁添加量/%	C 柠檬酸添加量/%	D 木糖醇添加量/%
1	10	20	0.1	6
0	15	25	0.2	8
-1	20	30	0.3	10

表 2 沙棘枸杞复合运动饮料感官评分标准
Table 2 Sensory evaluation score of sports sea buckthorn and wolfberry sports drinks

项目	评分标准	满分/分
色泽	呈微红色液体(7~10 分);深红或黄色(0~6 分)	10
气味	沙棘、枸杞气味均衡,无刺激性气味(15~20 分);沙棘味过浓或过淡,无枸杞气味,无异味(5~14 分);枸杞味不足,有异味(0~4 分)	20
组织状态	组织细腻、均一透明,无杂质、沉淀,无分层、稳定性好(24~30 分);有少量沉淀,较稳定(15~23 分);较均匀,有分层,存在少量沉淀(5~14 分);分层严重,存在大量沉淀(0~4 分)	30
口感	酸甜协调,沙棘枸杞口感协调、口感爽滑(30~40 分);酸甜度较好,口感较柔和(10~29 分);偏酸或偏甜,口感粗糙(0~9 分)	40

3 结果与分析

3.1 沙棘枸杞复合运动饮料单因素试验

3.1.1 沙棘汁添加量对沙棘枸杞复合运动饮料的影响

在枸杞汁添加量为 25%、柠檬酸添加量为 0.2%、木糖醇添加量为 8%的条件下,研究沙棘汁添加量对感官评价的影响。根据图 1 可知,饮料在沙棘汁添加量为 10%时感官评分较低,随着沙棘汁添加量的增加,感官评分呈先增大后逐渐减小的趋势,当沙棘汁用量达到 15%时,感官评分最高。沙棘汁过少时,枸杞的味道过重,口味不丰富,沙棘汁过浓时,沙棘味重口感不佳。故选择沙棘汁的添加量在 15%左右为宜。

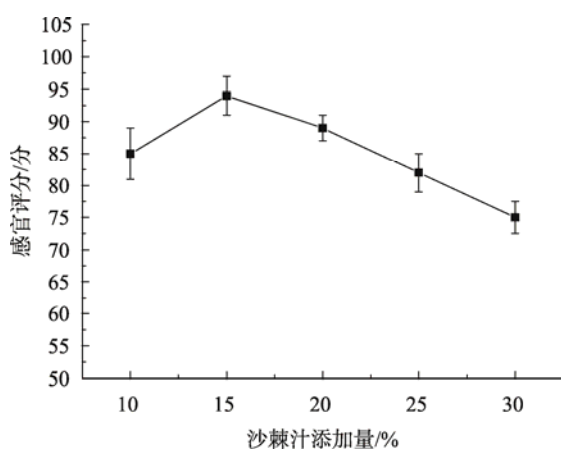


图 1 沙棘汁添加量对感官评分的影响($n=30$)

Fig.1 Effect of the addition of sea buckthorn juice on sensory evaluation ($n=30$)

3.1.2 枸杞汁添加量对复合运动饮料感官品质的影响

试验在沙棘汁添加量为 15%、柠檬酸添加量为 0.2%、木糖醇添加量为 8%的条件下,研究枸杞汁添加量对感官评价的影响从图 2 可以看出,在刺梨汁、柠檬酸及木糖醇添加量不变的情况下,随枸杞汁添加量的增加,感官评分呈先增加后降低的趋势,在枸杞汁添加量为 25%时,枸杞与沙棘的风味均衡,口感丰富均衡,更易被人们接受,感官评分达 95 分。故选择枸杞汁的添加量在 25%左右为宜。

3.1.3 柠檬酸添加量对沙棘枸杞复合运动饮料的影响

在枸杞汁添加量为 25%、沙棘汁添加量为 15%、木糖醇添加量为 8%的条件下,研究柠檬酸添加量对感官评价的影响。从图 3 可知,在沙棘汁、枸杞汁及木糖醇添加量不变的情况下,随着柠檬酸添加量的增加,感官评分呈先增加后下降的趋势,在柠檬酸添加量为 0.2%时,感官评分达到最大值。当继续添加柠檬酸时,口感过酸不易被人们接受^[12],故选择柠檬酸的添加量为 0.2%左右为宜。

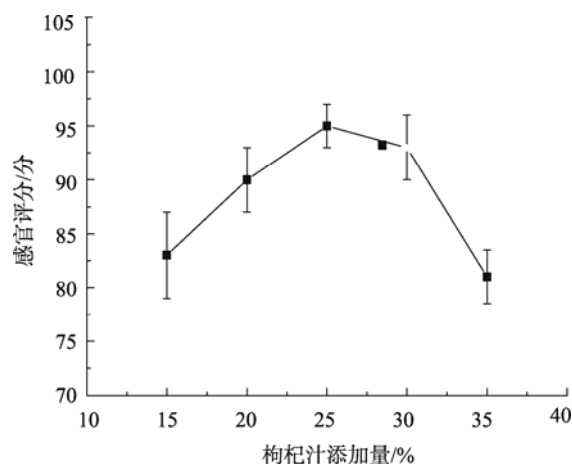


图 2 枸杞汁添加量对感官评分的影响($n=30$)

Fig.2 Effect of the addition of wolfberry juice on sensory evaluation ($n=30$)

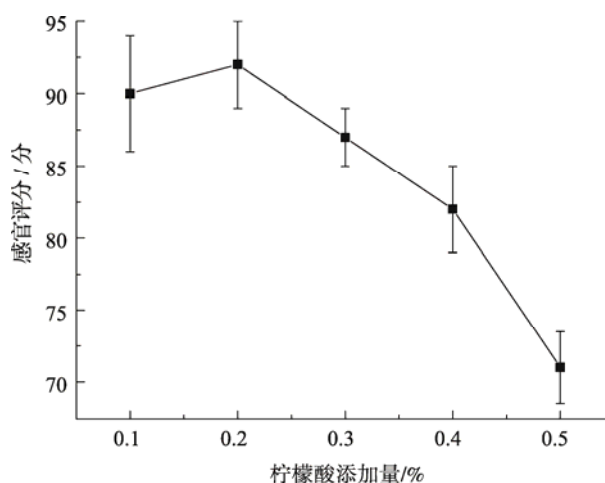


图 3 柠檬酸添加量对感官评分的影响($n=30$)

Fig.3 Effect of the addition of citric acid on sensory evaluation ($n=30$)

3.1.4 木糖醇添加量对沙棘枸杞复合运动饮料的影响

在枸杞汁添加量为 25%、沙棘汁添加量为 15%、柠檬酸添加量为 0.2%的条件下,研究木糖醇添加量对感官评价的影响。由图 4 可知,随着木糖醇用量的增加,运动饮料感官评分先逐渐增大后趋于平稳,当木糖醇用量为 8%时,感官评分为 95 分,口感最佳。木糖醇添加量过小时,由于酸味过重,导致口感不佳,当木糖醇添加量在 8%~12%时,口感影响不大,都获得较高评分,这与张峰等^[10]在研究枸杞红枣复合运动饮料中木糖醇添加结论一致。但从经济角度上考虑,选择木糖醇添加量为 8%左右。

3.2 Box-Behnken Design 响应面设计

采用 Design Expert 17.0 软件进行 4 因素 3 水平的响应面设计。以复合运动饮料感官评分值(Y)为响应值,沙棘汁(A)、枸杞汁(B)、柠檬酸(C)、木糖醇(D)4 个因素为自变

量, 设计 4 因素 3 水平 Box-Behnken 试验方案, 响应面设计试验结果见表 3, 方差分析见表 4。

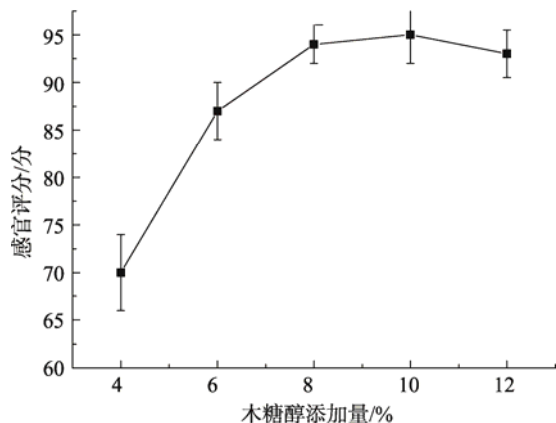


图 4 木糖醇添加量对感官评分的影响(n=30)
Fig.4 Effect of the addition of xylitol on sensory evaluation (n=30)

利用 Design Expert 软件对表 3 进行回归分析, 得到复合运动饮料感官评分值对自变量沙棘汁(A)、枸杞汁(B)、柠檬酸(C)、木糖醇(D)的编码值二次多项回归方程为:

$$Y=94.60+0.42A+1.83B-1.92C+0.17D-1.75AB-0.5AC-0.5AD+1.25BD-0.25CD-2.38A^2-5.01B^2-3.38C^2-1.01D^2。$$

由表 4 可知, 该模型 $P < 0.0001$, 回归模型方程极显著; 失拟项 $P=0.0532 > 0.05$, 不显著, 则该方程合理可行; 决定系数 $r^2=0.9454$, 说明预测值与实际值有很好的相关性。模型的校正决定系数 $r_{Adj}^2=0.8908$, 说明该模型能解释 89.08%响应值的变化。

模型方程的一次项 B、C 的 P 值均 < 0.0001 , 说明枸杞汁和柠檬酸对复合运动饮料感官评分值产生显著的影响, 且一次项各因素对复合运动饮料感官评分值影响的大小顺序为: 柠檬酸(C) > 枸杞汁(B) > 沙棘汁(A) > 木糖醇(D)。交互项 AB 的 P 值 < 0.01 , BD 的 P 值 < 0.05 , 说明沙棘汁与枸杞汁的配合比例影响着运动饮料的口感, 木糖醇的糖度与

表 3 响应面试验设计条件及结果
Table 3 The response surface experimental design and result

试验号	A 沙棘汁	B 枸杞汁	C 柠檬酸	D 木糖醇	Y 感官评分值/(分)
1	-1	-1	0	0	83
2	1	-1	0	0	88
3	-1	1	0	0	91
4	1	1	0	0	89
5	0	0	-1	-1	92
6	0	0	1	-1	89
7	0	0	-1	1	93
8	0	0	1	1	89
9	-1	0	0	-1	90
10	1	0	0	-1	92
11	-1	0	0	1	92
12	1	0	0	1	92
13	0	-1	-1	0	88
14	0	1	-1	0	90
15	0	-1	1	0	83
16	0	1	1	0	85
17	0	1	-1	0	89
18	1	0	-1	0	90
19	-1	0	1	0	87
20	1	0	1	0	86
21	0	-1	0	-1	87
22	0	1	0	-1	89
23	0	-1	0	1	84
24	0	1	0	1	91
25	0	0	0	0	95
26	0	0	0	0	94
27	0	0	0	0	94
28	0	0	0	0	95
29	0	0	0	0	95

表 4 回归模型方差分析
Table 4 Analysis of variance of regression equation

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	319.34	14	22.81	17.31	<0.0001	**
A	2.08	1	2.08	1.58	0.2292	
B	40.33	1	40.33	30.61	<0.0001	**
C	44.08	1	44.08	33.45	<0.0001	**
D	0.33	1	0.33	0.25	0.6228	
AB	12.25	1	12.25	9.3	0.0087	**
AC	1	1	1	0.76	0.3984	
AD	1	1	1	0.76	0.3984	
BC	0	1	0	0	1	
BD	6.25	1	6.25	4.74	0.047	*
CD	0.25	1	0.25	0.19	0.6698	
A ²	36.85	1	36.85	27.96	0.0001	**
B ²	162.7	1	162.7	123.46	<0.0001	**
C ²	74.25	1	74.25	56.34	<0.0001	**
D ²	6.6	1	6.6	5	0.0421	*
残差	18.45	14	1.32			
失拟项	17.25	10	1.72	5.75	0.0532	
纯误差	1.2	4	0.30			
			$r^2=0.9454$	$r_{Adj}^2=0.8908$		

注：“*”表示对结果影响显著($P < 0.05$); “**”表示对结果影响极显著($P < 0.01$)。

枸杞汁有着显著的交互作用。二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 的 P 值均 < 0.01 , D^2 的 P 值 < 0.05 具有极高的显著性, 说明复合运动饮料感官评分的变化相对复杂, 沙棘汁、枸杞汁、柠檬酸和木糖醇对感官评分的影响不是简单的线性关系, 响应面效应显著。该回归方程的拟合度和可信度均较可, 可用于复合运动饮料感官评分值的理论预测^[13]。

响应面图是响应值对应各因素沙棘汁(A)、枸杞汁(B)、柠檬酸(C)、木糖醇(D)所成的三维空间曲面图, 可直观反映各因素的交互作用。在固定另外 2 个因素的情况下, 对模型进行降维分析, 以考察各因素间的交互作用对响应值感官评分值(Y)影响。由 Design Expert 软件对其进行统计分析, 所得响应曲面见图 5、图 6。二维图能够较直观地反映出各个因素交互作用对响应值的影响。二维图中的椭圆形表示两因素交互作用显著, 而圆形则表示两因素交互作用不显著^[14-16]。沙棘汁添加量(A)、枸杞汁添加量(B)之间的交互作用极显著, 具体表现投影图呈明显的椭圆形, 沙棘汁添加量(A)、枸杞汁添加量(B)之间的交互作用显著; 枸杞汁添加量(B)与木糖醇添加量(D)之间的交互作用显著, 具体表

现投影图呈明显的椭圆形, 枸杞汁添加量(B)与木糖醇添加量(D)之间的交互作用显著。

经软件 Design Expert 7.0 优化, 分析得到沙棘枸杞复合运动饮料的最佳工艺条件为: 沙棘汁添加量 15.08%、枸杞汁添加量 26.06%、柠檬酸添加量 0.17%、木糖醇添加量 8.49%。根据模型预测得到的理论最大感官评分为 95.6 分。

3.3 验证试验

为了验证模型预测的可靠性, 同时考虑到实际配方的便利性, 将最佳工艺条件修正为: 沙棘汁添加量 15%、枸杞汁添加量 26%、柠檬酸添加量 0.17%、木糖醇添加量 8.5%, 在最佳处理条件下, 测得感官评分为 95 分。实测值与预测值误差为 0.18%, 证明响应面法优化的沙棘枸杞复合运动饮料工艺是可行的, 具有实际应用价值。

3.4 产品质量指标检测

经检测, 优化后沙棘枸杞复合运动饮料可溶性固形物含量为 7.5%; 钠含量为 156 mg/L; 钾含量为 98 mg/L。检测微生物指标结果为未检出大肠菌群, 菌落总数为 ≤ 100 CFU/mL。

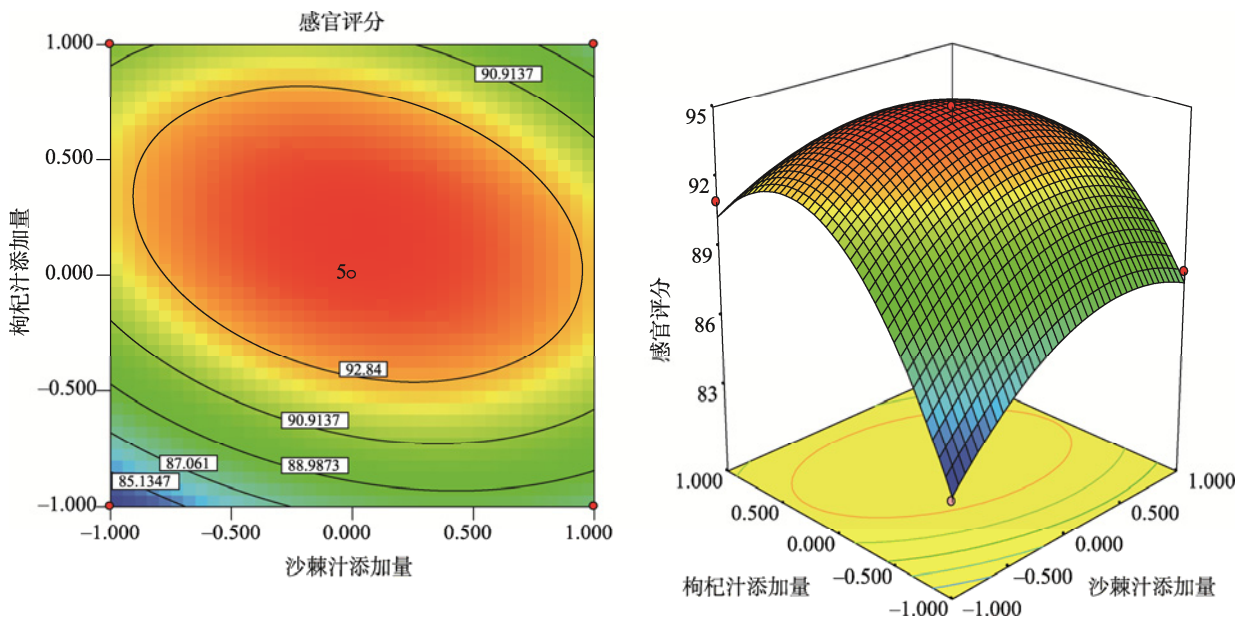


图 5 沙棘汁添加量与枸杞汁添加量对感官评分影响的响应面及等高线图

Fig.5 Response surface and contour plot for effect of the addition of sea buckthorn juice and wolfberry juice on sensory evaluation

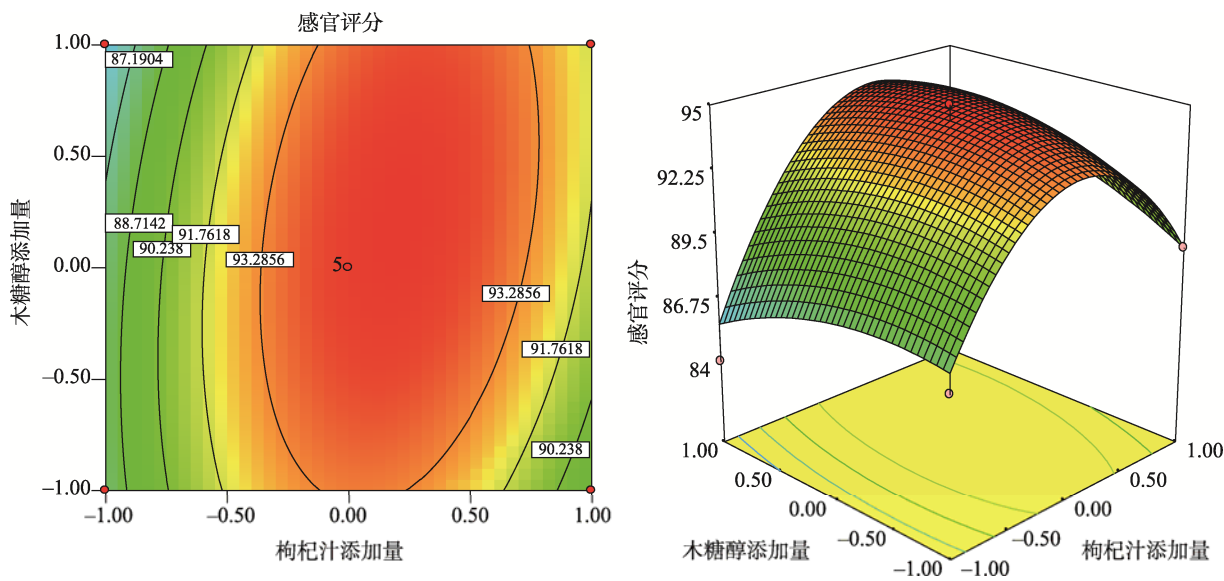


图 6 枸杞汁添加量与木糖醇添加量对感官评分影响的响应面及等高线图

Fig.6 Response surface and contour plot for effect of the addition of wolfberry juice and xylitol on sensory evaluation

4 结 论

沙棘枸杞运动饮料的最佳配方: 沙棘汁添加量 15%、枸杞汁添加量 26%、柠檬酸添加量 0.17%、木糖醇添加量 8.5%。在此优化条件下, 复合运动饮料的感官评分为 95 分, 产品不仅口感酸甜适口, 组织状态稳定, 而且达到相关运动饮料国家标准, 可以作为运动者长期饮用的运动饮料。

参考文献

[1] 姜国龙, 张军, 赵洪双. 蓝莓沙棘复合格瓦斯饮料发酵工艺的优化[J].

食品工业, 2015, (2): 1-4.

Jiang GL, Zhang J, Zhao HS. Optimization of fermentation of compound KbaC beverage by blueberry and sea buckthorn [J]. Food Ind, 2015, (2): 1-4.

[2] 张祚, 冉丽霞, 万方琼, 等. 沙棘总黄酮的提取法与药理作用研究进展[J]. 中国临床药理学杂志, 2018, (9): 116-118.

Zhang Z, Ran LX, Wan FQ, et al. Study on preparation techniques of seabuckthorn brandy [J]. Chin J Clin Pharm, 2018, (9): 116-118.

[3] 赵二劳, 徐芬, 尹爱萍, 等. 沙棘果油与沙棘籽油脂肪酸组成及其抗氧化活性[J]. 中国油脂, 2017, 42(12): 120-123.

Zhao EL, Xu F, Yin AP, et al. Fatty acid compositions and antioxidant

- activities of sea buckthorn pulp oil and sea buckthorn seed oils [J]. *Chin Oil*, 2017, 42(12): 120–123.
- [4] 汪建红, 陈晓琴, 张蔚佼. 黑果枸杞果实多糖抗疲劳生物功效及其机制研究[J]. *食品科技*, 2009, 34(2): 203–207.
Wang JH, Chen XQ, Zhang WJ. Study on biological effect and mechanism of antifatigue of polysaccharide from *Lycium rathenicum mill.* fruit [J]. *Food Sci Technol*, 2009, 34(2): 203–207.
- [5] 覃筱燕, 唐丽, 杨林, 等. 枸杞提取物对小鼠抗疲劳作用的实验研究[J]. *中医药学报*, 2009, 37(2): 8–10.
Qin XY, Tang L, Yang L, *et al.* Research progress on *Lycium barbarum* polysaccharides [J]. *Acta Chin Med Pharm*, 2009, 37(2): 8–10.
- [6] 张菀鑫, 颜奕曦, 赵静, 等. 枸杞多糖分析方法研究进展[J]. *药物分析杂志*, 2018, (1): 1–12.
Zhan YX, Yang YX, Zhao J, *et al.* Advanced analysis of polysaccharides from *Lycii Fructus* [J]. *Chin J Pharm Anal*, 2018, (1): 1–12.
- [7] 吴昊, 李秀秀. 石榴枸杞酒发酵工艺的响应面优化分析[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(3): 146–150.
Wu H, Li XX. Response surface optimization analysis on fermentation process of pomegranate and medlar wine [J]. *Food Ferm Ind*, 2018, 44(3): 146–150.
- [8] 许飞虎, 王经健. 山药-玉竹-红景天复合运动饮料研制及其抗疲劳功能研究[J]. *粮食与油脂*, 2018, (11): 67–72.
Xu FH, Wang JJ. Study on production of yam-polygonatum odoratum-rhodiola composite sports drinks and its anti-fatigue function [J]. *Cereal Oil*, 2018, (11): 67–72.
- [9] 莫双媛, 梁健. 黑灵芝多糖对运动大鼠抗疲劳和抗氧化作用[J]. *食品与生物技术学报*, 2018, (5): 555–559.
Mo SY, Liang J. Study of *Ganoderma lucidum* polysaccharides on rat anti-fatigue and anti-oxidant effect [J]. *J Food Sci Biotechnol*, 2018, (5): 555–559.
- [10] 张峰, 房磊. 枸杞红枣复合运动饮料研制及其抗疲劳功能研究[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(21): 58–62.
Zhang F, Fang L. Study of wolfberry jujube composite sports drinks and its anti-fatigue function [J]. *Food Sci Technol*, 2016, 37(21): 58–62.
- [11] GB 15266-2009 运动饮料[S].
GB 15266-2009 Sports Drinks [S].
- [12] 王金瑞. 黄秋葵百合运动饮料的研制[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(1): 89–94, 140.
Wang JR. Study on okra and liliun sports drinks [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 39(1): 89–94, 140.
- [13] 贾朝爽, 赵子彤, 单长松, 等. 响应面分析法优化虾油酱腌菜工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2018, (1): 199–203.
Jia CS, Zhao ZT, Shan CS, *et al.* Optimization of shrimp sauce pickles by response surface analysis [J]. *Food Ferm Ind*, 2018, (1): 199–203.
- [14] Oberoi DPS, Sogi DS. Utilization of watermelon pulp for lycopene extraction by response surface methodology [J]. *Food Chem*, 2017, (232): 316–321.
- [15] 徐连巧, 曹剑锋, 谢之英, 等. 响应面法优化小春花根黄酮提取工艺及其抗油脂氧化活性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(5): 985–992.
Xu LQ, Cao JF, Xie ZY, *et al.* Optimization of extraction process of flavonoids from *Sceptridium ternatum* (thumb.) Lyon root using response surface methodology and evaluation of its antioxidant activity [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(5): 985–992.
- [16] Ryu D, Koh E. Application of response surface methodology to acidified water extraction of black soybeans for improving anthocyanin content, total phenols content and antioxidant activity [J]. *Food Chem*, 2018. doi: S0308814618306873.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介

李珈骥, 硕士, 主要研究方向为体育教学。

E-mail: zhangjiaosha826324@126.com