

## 响应面法优化复合枸杞果酱的制备工艺及体外抗氧化活性研究

刘耀耀<sup>1</sup>, 乔杨波<sup>1</sup>, 叶英<sup>1,2</sup>, 祁生妍<sup>1</sup>, 蒋涛<sup>1\*</sup>

(1. 青海大学农牧学院, 青海西宁 810016; 2. 青海省青藏高原农产品加工重点实验室, 青海西宁 810016)

**摘要** [目的] 优化枸杞果酱的最优制备工艺, 研究其抗氧化活性。[方法] 采用枸杞、草莓、百香果、白砂糖为原料, 通过单因素试验和 Box-Behnken 试验优化复合枸杞果酱的制备工艺, 并对其体外抗氧化活性进行研究。[结果] 复合枸杞果酱的最佳制备工艺条件: 百香果添加量 8%, 白砂糖添加量 7.18%, 草莓与枸杞配比为 3:2, 在该制备工艺条件下得到的复合枸杞果酱黄酮含量为 9.51 mg/g, 多糖含量为 0.49 mg/g,  $V_C$  含量 0.20 mg/g。抗氧化研究结果显示: 复合枸杞果酱具有较强的抗氧化能力, 对 ABTS、DPPH、超氧阴离子、羟自由基的清除率最高分别可达 81.61%、89.90%、42.82% 与 87.53%。[结论] 该研究可为合理利用枸杞资源提供技术支持。

**关键词** 复合枸杞果酱; Box-Behnken 试验; 体外抗氧化

中图分类号 TS 255.43 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)18-0135-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.18.034



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Optimization of Preparation Process of Compound Wolfberry Jam by Response Surface Methodology and Its Antioxidant Activities**  
LIU Yao-yao<sup>1</sup>, QIAO Yang-bo<sup>1</sup>, YE Ying<sup>1,2</sup> et al (1. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016; 2. Qinghai Tibet Plateau Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Xining, Qinghai 810016)

**Abstract** [Objective] To optimize the optimal preparation process of compound wolfberry jam and study its antioxidant activity. [Method] Taking the wolfberry, strawberry, passion fruit and white granulated sugar as raw materials, the preparation process of compound wolfberry jam was optimized by single factor tests and Box-Behnken tests, and its *in vitro* antioxidant activity was studied. [Result] The results showed that the optimum conditions for the preparation process of compound wolfberry jam were as follows: the proportion of passion fruit and white granulated sugar was 8%, 7.18%, respectively; the ratio of strawberry to wolfberry was 3:2, and the content of flavonoids, polysaccharide and  $V_C$  was 9.51 mg/g, 0.49 mg/g, 0.2 mg/g, respectively. Antioxidant tests results showed that the compound wolfberry jam owned strong antioxidant capacity, the scavenging rates of ABTS free radicals, DPPH free radicals, superoxide anion free radicals, and hydroxyl free radicals could up to 81.61%, 89.90%, 42.82% and 81.61%, 87.53%, respectively. [Conclusion] This study could provide references for rational utilization of wolfberry resources.

**Key words** Wolfberry jam; Box-Behnken test; Antioxidant

枸杞在世界各国都有分布, 有 80 余种, 我国主要分布于山西、青海、新疆、陕西、河北、内蒙古等地<sup>[1]</sup>。枸杞是传统的药食同源植物, 其花、皮、果、根、叶均可入药, 有较高的药用保健功能和营养价值<sup>[2]</sup>, 如美容养颜、降低血糖、抗衰老等<sup>[3]</sup>。枸杞有多种药用成分, 包括维生素、多糖、类胡萝卜素、类黄酮、微量元素等<sup>[4]</sup>。百香果又称西番莲、鸡蛋果, 主要分布于广西、广东等地, 百香果果实富含荔枝、酸梅、柠檬等百余种水果的香气, 因此被誉为“百香果”<sup>[5]</sup>。百香果中含有多种维生素、类胡萝卜素、微量元素和氨基酸<sup>[6]</sup>, 具有抗焦虑及镇静、抗氧化、抗成瘾、抗炎等功能<sup>[7]</sup>。现代医学表明, 草莓具有滋阴养血、降血压、抗衰老等作用, 可以预防动脉粥样硬化, 降胆固醇, 对治疗贫血症、白血病、脑出血等也有一定的疗效<sup>[8]</sup>。

果酱是凝胶物质, 其中果酸能促进消化液分泌, 增强食欲; 富含钾、钙、锌等元素, 能消除疲劳。近年来, 由于人们对身体保健意识的不断强化, 一些具有很高营养价值和保健功能的果酱深受消费者喜爱, 如香蕉果酱和胡萝卜复合果酱等<sup>[9]</sup>。目前市场上也有较多复合果酱产品, 如刘芳舒等<sup>[10]</sup>采用番茄与无籽刺梨生产无籽刺梨复合果酱; 尤丽新等<sup>[11]</sup>制备得到香蕉猕猴桃复合果酱; 李自强等<sup>[12]</sup>以金雀花浆、红枣泥和胡萝卜泥为主要原材料生产制备出低糖金雀花复合

果酱。果酱产品种类繁多, 然而在市场上却很少见到具有抗氧化功能的果酱。大多数体外抗氧化活性研究表明, 蔬菜和水果对不同自由基具有一定的清除作用。蔬菜和水果的抗氧化作用除了来源于众所周知的抗氧化物质(如  $V_C$ 、 $V_E$ 、 $\beta$ 胡萝卜素等)之外, 可能更主要来源于黄酮、多糖等物质<sup>[13]</sup>。枸杞、草莓、百香果富含  $V_C$ 、黄酮、多糖等抗氧化活性物质<sup>[14]</sup>。笔者选取枸杞、草莓、百香果、白砂糖为原料, 制备功能性复合枸杞果酱, 运用单因素试验与 Box-Behnken 试验方法确定果酱制备的最优工艺条件; 通过测定 ABTS、DPPH、抗超氧阴离子、羟自由基清除率及铁离子还原能力, 评价果酱的体外抗氧化能力, 并测定复合果酱中主要抗氧化活性成分黄酮、多糖、 $V_C$  的含量, 以为功能性复合枸杞果酱产品的开发提供科学依据。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 草莓、百香果、白砂糖, 市售; 枸杞, 产于青海柴达木; ABTS 试剂, 北京酷尔化学科技有限公司; DPPH 试剂, 南京奥多福尼生物科技有限公司; NaAc-HCA 缓冲液, 福建厦门海标科技有限公司; 超氧阴离子自由基试剂盒、羟自由基试剂盒、铁离子还原能力试剂盒, 南京建成生物工程研究所。其他试剂均为分析纯。

**1.2 仪器和设备** HH-4 数显恒温水浴锅: 国华电器有限公司; JM-B3003 型电子天平: 诸暨市超泽衡器设备有限公司; UV-2600 紫外可见分光光度计: 岛津企业管理有限公司。

**作者简介** 刘耀耀(1996—), 女, 陕西延长人, 硕士研究生, 研究方向: 野生植物资源研究与开发。\* 通信作者, 实验师, 从事食品科学研究。

收稿日期 2022-04-18

### 1.3 试验方法

**1.3.1 制备工艺流程。**原料选择→清洗→去皮→切块→打浆→熬煮→装瓶密封→灭菌→冷却→复合枸杞果酱。

**1.3.2 操作要点。**原料选择:选择果实较大、成熟、无破损的枸杞、草莓、百香果。打浆:将枸杞、切块的草莓、去皮的百香果按比例打浆。熬煮:将打浆后的果酱倒入锅中,加入200 mL蒸馏水和按照要求称取的白砂糖,在电磁炉上熬煮15 min,直至果酱状态黏稠,且具有一定的流动性。装瓶密封:果酱浓缩结束后,趁热装入已灭菌的罐内(顶间隙约2~3 mm),装瓶时要迅速将罐盖拧紧,且每锅果酱的分装要在30 min内完成。灭菌:将密封好的果酱进行灭菌,温度100 ℃,保持10 min,然后取出。

### 1.4 试验设计

**1.4.1 单因素试验。**固定其他因素及水平,以感官评分为考察指标,分别研究白砂糖添加量、百香果添加量、草莓与枸杞配比对复合枸杞果酱感官评分的影响。设计各因素水平:白砂糖添加量3%、6%、9%、12%、15%;百香果添加量2%、4%、6%、8%、10%;草莓与枸杞配比2:1、3:2、1:1、2:3、1:2。

**1.4.2 响应面试验。**在单因素试验的基础上,以复合枸杞果酱感官评分为响应值( $Y$ ),以百香果添加量( $A$ )、白砂糖添加量( $B$ )、枸杞与草莓配比( $C$ )为试验因素,利用 Design Expert 7.0.0 软件,设计3因素3水平的 Box-Behnken 响应面试验,并对结果进行分析。因素水平设计见表1。

表1 因素水平设计

Table 1 Design of factors and levels

水平 Levels	百香果 添加量 Thyme addition (A) // %	白砂糖 添加量 White gran- ulated sugar addition (B) // %	草莓与枸 杞配比 Ratio of strawberry and medlar (C)
1	4	6	2:3
2	6	9	1:1
3	8	12	3:2

**1.5 复合枸杞果酱感官品质评定方法** 在单因素试验的基础上,以复合枸杞果酱感官评分为主要参考指标,评判标准参照国标 GB/T 22474—2008《果酱》,从色泽、香味、组织状态、黏稠度、口感、酸甜度6个方面对所制备的复合枸杞果酱进行感官评价。具体评价指标见表2。

### 1.6 测定项目与方法

**1.6.1 黄酮含量的测定**<sup>[15-17]</sup>。参考前人方法绘制芦丁标准曲线。以吸光值 $y$ 与芦丁标准品浓度 $x$ (g/mL)进行线性回归,得到回归方程: $y=55.769 0x+3.046 7$ , $R^2=0.998 1$ ,并根据标准曲线计算样品中黄酮浓度,按公式计算黄酮含量。

$$\text{黄酮含量(g/mL)} = \frac{C \times V \times n}{m}$$

式中, $C$ 为标准曲线查得的样品黄酮浓度,g/mL; $V$ 为稀释后移取样品溶液体积,mL; $n$ 为稀释倍数; $m$ 为称取样品质量,g。

**1.6.2 多糖含量的测定。**参考文献[18]采用苯酚-硫酸法绘

制葡萄糖标准曲线。以吸光值 $y$ 与葡萄糖标准品浓度 $x$ (g/mL)进行线性回归,得到回归方程: $y=16.318 0x+0.005 3$ , $R^2=0.999 7$ ,并根据标准曲线计算样品中多糖浓度,按公式计算多糖含量。

$$\text{多糖含量(g/mL)} = \frac{C \times V \times n}{m \times 1\ 000}$$

式中, $C$ 为标准曲线查得的样品多糖浓度,g/mL; $V$ 为移取稀释后样品溶液的体积,mL; $n$ 为稀释倍数; $m$ 为称取样品质量,g。

表2 复合枸杞果酱感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard of compound wolfberry jam

评分项目 Scoring items	评分标准 Scoring criteria	分数 Score
色泽(15分) Color (15 points)	色泽均匀 色泽较均匀 色泽不均匀,有颗粒物质	11~15 6~10 1~5
香味(10分) Fragrance (10 points)	草莓香味浓厚 草莓香味较淡 无香气	7~10 4~6 1~3
组织状态(15分) Organizational status (15 points)	凝胶良好,无分层,表明无液体析出 基本形成凝胶,有流动感 未形成凝胶,易流动	11~15 6~10 1~5
黏稠度(10分) Viscosity (10 points)	黏稠度较大,能产生拉丝感 黏稠适中,有轻微拉丝感 无黏稠度,无拉丝感	7~10 4~6 1~3
口感(20分) Taste (20 points)	口感细腻,无明显颗粒感 口感较细腻,有轻微颗粒感 口感粗糙,有明显颗粒感	14~20 7~13 1~6
酸甜度(30分) Acidity and sweetness (30 points)	酸甜度适中,果味较浓 偏酸或偏甜,果味较淡 过酸或过甜,有不良风味	21~30 11~20 1~10

**1.6.3  $V_c$ 含量的测定。**参考前人的方法绘制 $V_c$ 标准曲线。以吸光值 $y$ 与 $V_c$ 标准品浓度 $x$ (g/mL)进行线性回归,得到回归方程: $y=96.840 0x+0.022 2$ , $R^2=0.999 4$ 。并根据标准曲线计算样品中 $V_c$ 浓度,按公式计算 $V_c$ 含量。

$$V_c \text{ 含量(g/mL)} = \frac{C \times V \times n}{m \times 1\ 000}$$

式中, $C$ 为标准曲线查得的样品 $V_c$ 浓度,g/mL; $V$ 为移取稀释后样品溶液的体积,mL; $n$ 为稀释倍数; $m$ 为称取样品质量,g。

### 1.7 抗氧化活性研究

**1.7.1 ABTS 自由基清除率的测定**<sup>[19-21]</sup>。精确称取制备得到的复合枸杞果酱,用蒸馏水将其稀释为不同质量浓度(24、48、128、160、192 mg/mL),与 ABTS 溶液按照1:20( $V:V$ )进行混合,混合后的溶液室温下避光静置6 min后,在734 nm处测定吸光值,以 $V_c$ 为阳性对照,并按公式计算 ABTS 自由基清除率。

$$\text{ABTS 自由基清除率} = \left(1 - \frac{A_{\text{样品}}}{A_{\text{对照}}}\right) \times 100\%$$

式中, $A_{\text{对照}}$ 为 ABTS 溶液的吸光值, $A_{\text{样品}}$ 为样品加 ABTS 溶液的吸光值。

**1.7.2 DPPH 清除率的测定。**精确称取制备得到的复合枸杞果酱,用蒸馏水将其稀释到不同质量浓度(1.5、3.0、6.0、12.0、24.0、48.0 mg/mL),与 DPPH 溶液( $5 \times 10^{-5}$  mol/L)按照1:1( $V:$

V)混合,室温下避光静置 30 min 后,在 517 nm 处测定吸光值,以  $V_c$  为阳性对照,并按下式计算 DPPH 自由基清除率<sup>[22-23]</sup>。

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \left(1 - \frac{A_{\text{样品}}}{A_{\text{对照}}}\right) \times 100\%$$

式中,  $A_{\text{对照}}$  为 DPPH 溶液的吸光值,  $A_{\text{样品}}$  为样品加 DPPH 溶液的吸光值。

**1.7.3 超氧阴离子自由基作用的测定。**精确称取制备得到的复合枸杞果酱,用蒸馏水将其稀释到不同质量浓度(1、3、6、12、24、48 mg/mL),根据试剂盒操作步骤测定样品超氧阴离子自由基清除率<sup>[24]</sup>。

**1.7.4 羟自由基清除率的测定。**精确称取制备得到的复合枸杞果酱,用蒸馏水将其稀释到不同质量浓度(1、3、6、12、24、48、96 mg/mL),根据试剂盒操作步骤测定样品羟自由基清除率。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

**2.1.1 百香果添加量。**从图 1 可以看出,当百香果比例为 6% 时,感官评分最高,为 85.7 分,此时百香果的果味浓郁,酸甜度适中。百香果比例小于 6% 时,百香果的果味较淡,果酱味道偏甜;当百香果比例大于 6% 时,百香果的果味偏浓,偏酸或过酸。

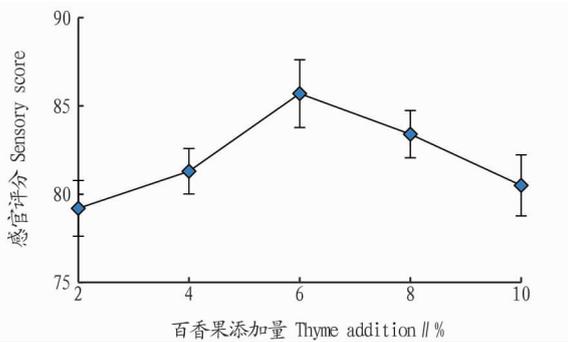


图 1 百香果添加量对复合枸杞果酱感官评分的影响

Fig.1 Effect of thyme addition on the sensory score of compound wolfberry jam

**2.1.2 白砂糖添加量。**由图 2 可知,当白砂糖添加量为 9% 时感官评分最高,为 85.2 分,且果酱凝胶良好,黏稠度适中,酸甜度适中。而白砂糖添加量小于 9% 时,虽然果酱基本形成凝胶,但黏稠度较小,偏酸;当白砂糖添加量大于 9% 时,果酱凝胶良好,但是较黏稠,偏甜或过甜。

**2.1.3 草莓与枸杞配比。**由图 3 可知,草莓与枸杞配比为 1:1 时的感官评分最高,为 86.8 分,该配比下果酱口感细腻,色泽均匀,草莓味道适中。而草莓与枸杞配比为 2:1 和 3:2 时,果酱口感细腻,色泽较均匀,但草莓味较浓厚;当草莓与枸杞配比为 2:3 和 1:2 时,果酱口感细腻,色泽较均匀,但草莓味过淡。

### 2.2 Box-Behnken 结果

**2.2.1 方差结果。**以感官评分为响应值,Box-Behnken 试验结果见表 3。对各因素进行回归拟合,得到复合枸杞果酱感官评分与百香果添加量(A)、白砂糖添加量(B)与草莓与枸

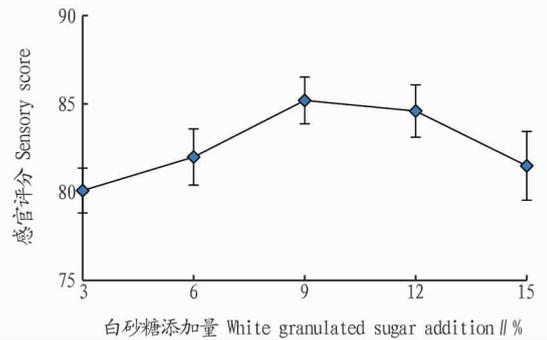


图 2 白砂糖添加量对复合枸杞果酱感官评分的影响

Fig.2 Effect of white granulated sugar addition on the sensory score of compound wolfberry jam

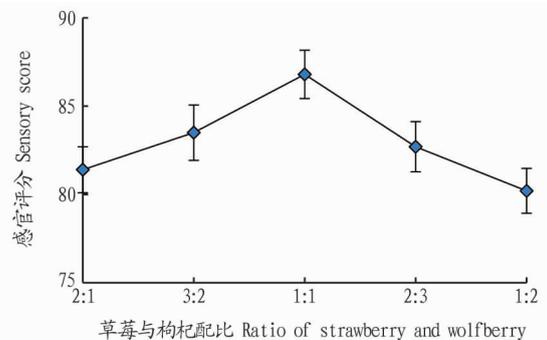


图 3 草莓与枸杞对比对复合枸杞果酱感官评分的影响

Fig.3 Effect of the ratio of strawberry and wolfberry on the sensory score of compound wolfberry jam

杞比例(C)二元多项式模型为  $Y = -65.509 19 + 17.606 63A + 16.806 08B + 46.534 37C - 0.618 75AB + 0.678 13AC - 2.252 08BC - 1.046 44A^2 - 0.606 19B^2 - 13.629 69C^2$ ,  $R^2 = 0.991 6$ ,  $R^2_{\text{adj}} = 0.986 6$ 。该方程中一次项、二次项和交互项的系数绝对值的大小反映了其对感官评分的影响程度,系数的正、负则反映了影响的方向。

表 3 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 3 Experimental design and results of Box-Behnken

试验号 Test No.	A	B	C	得分 Score
1	1	1	0	74.42
2	1	0	-1	80.33
3	0	-1	-1	76.34
4	0	0	0	88.05
5	1	-1	0	82.46
6	0	1	-1	81.52
7	-1	-1	0	74.68
8	-1	0	-1	80.50
9	-1	1	0	81.49
10	0	0	0	88.66
11	1	0	1	83.66
12	0	0	0	88.02
13	0	0	0	86.77
14	0	1	1	78.79
15	0	-1	1	84.42
16	0	0	0	88.02
17	-1	0	1	81.66

由表 4 可知,以复合枸杞果酱感官评分为响应值建立的

模型  $P < 0.000 1$ , 说明该试验设计合理, 相关系数  $R^2 = 0.991 6$ , 与  $R^2_{adj} = 0.986 6$  相近, 说明该模型的实际值与预测值相吻合, 且失拟项不显著 ( $P = 0.87$ ), 表明模型与试验数据拟合性较好, 回归方程能较好地反映各因素与复合枸杞果酱感官评分的关系。C、AB、BC、 $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$  的显著性较高, 表明各

因素对复合枸杞果酱感官评分的影响并不是简单的线性关系。此外, 从  $F$  值的大小可以判断各因素对复合枸杞果酱感官评分的影响程度, 表现为 C(草莓与枸杞比例) > A(百香果添加量) > B(白砂糖添加量)。

表 4 方差分析结果

Table 4 Result of variance analysis

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方和 Mean square sum	F 值 F value	P 值 P value	显著性 Significance
模型 Model	339.84	9	37.76	118.47	<0.000 1	**
A	0.81	1	0.81	2.53	0.155 7	
B	0.35	1	0.35	1.11	0.327 7	
C	12.10	1	12.10	37.97	0.000 5	*
AB	55.13	1	55.13	172.98	<0.000 1	**
AC	1.18	1	1.18	3.69	0.096 1	
BC	28.21	1	29.21	91.66	<0.000 1	**
$A^2$	73.77	1	73.77	231.46	<0.000 1	**
$B^2$	125.33	1	125.33	393.22	<0.000 1	**
$C^2$	20.02	1	20.02	62.83	<0.000 1	**
残差 Residual	2.23	7	0.32			
失拟项 Aberrant term	0.33	3	0.11	0.23	0.873 0	
纯误差 Pure error	1.91	4	0.48			
总误差 Total error	342.07	16				

注: \*\* 表示差异极显著,  $P < 0.01$ ; \* 表示差异显著,  $P < 0.05$

Note: \*\* indicates extremely significant difference,  $P < 0.01$ ; \* indicates significant difference,  $P < 0.05$

2.2.2 曲面分析。根据回归方程利用 Design-Expert 7.0.0 软件, 作出各因素两两交互作用 Box-Behnken 及等高线 (图 4)。通过对 3 个曲面的观察可以预测和检验变量的响应值以及确定变量之间的相互关系, Box-Behnken 越陡, 反映出各因

素之间的两两交互作用越显著。交互项 AB(百香果添加量与白砂糖添加量)、BC(白砂糖添加量与草莓与枸杞比例)对果酱感官评分影响显著, A、B 和 C 对感官评分的影响均呈现抛物线趋势, 即各因素在所选取的试验范围内, 响应值存在极大值。

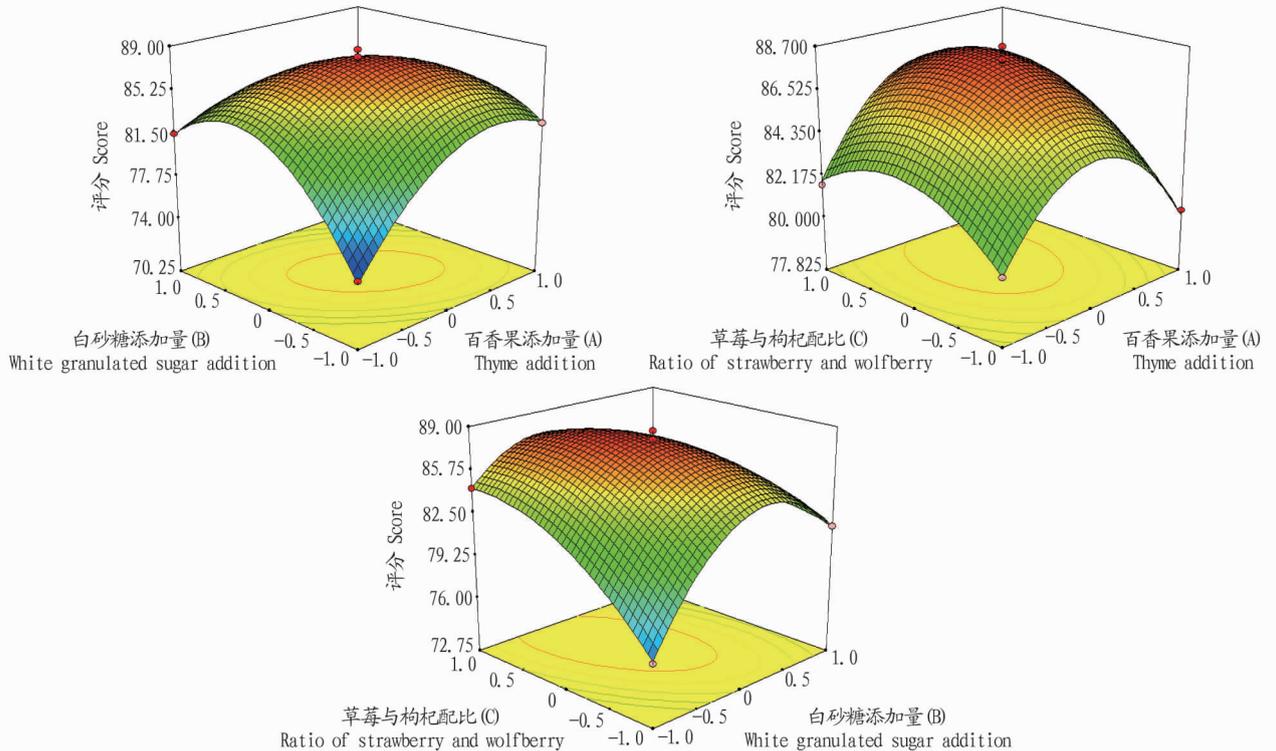


图 4 各因素交互作用对复合枸杞果酱感官评分的影响

Fig.4 Effect of the interaction of various factors on the sensory score of compound wolfberry jam

**2.2.3 验证试验。**由 Design Expert 7.0.0 软件得出的复合枸杞果酱的最佳制作条件:百香果添加量 8%、白砂糖添加量 7.18%、草莓与枸杞比例 3:2,该条件下所制作复合枸杞果酱的感官评分最高,为 89.64 分。

**2.2.4 产品质量指标。**

**2.2.4.1 感官指标。**制备得到的复合枸杞果酱,紫黑色有光泽,酸甜适口,柔滑细腻,香气独特(具有枸杞和百香果复合后的特殊香气),果酱外观良好,无汁液析出,流散缓慢。

**2.2.4.2 理化指标。**制备得到的复合枸杞果酱,pH 为 4.2,黄酮含量为 9.51 mg/g,多糖含量为 0.49 mg/g,  $V_c$  含量为 0.20 mg/g。

**2.2.4.3 微生物指标。**制备得到的复合枸杞果酱,菌落总数 <100 CFU/g;大肠菌群  $\leq$ 300 MPN/kg;致病菌,未检出。

## 2.3 体外抗氧化活性

**2.3.1 对 ABTS 自由基的清除效果。**从图 5 可见,随着果酱浓度的增加,对 ABTS 的清除率呈上升趋势。当果酱浓度为 192 mg/mL 时,ABTS 的清除率达 81.61%。

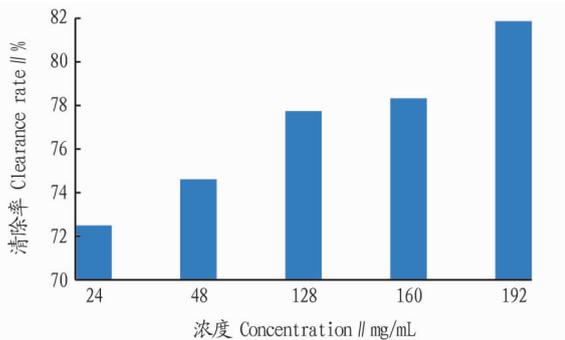


图 5 不同浓度复合枸杞果酱对 ABTS 自由基的清除率

Fig.5 ABTS radical scavenging rate of compound wolfberry jam with different concentration

**2.3.2 对 DPPH 自由基的清除效果。**从图 6 可见,随着果酱浓度的增加,DPPH 清除率呈增大趋势。当果酱浓度为 48.0 mg/mL 时,DPPH 清除率达 89.90%。

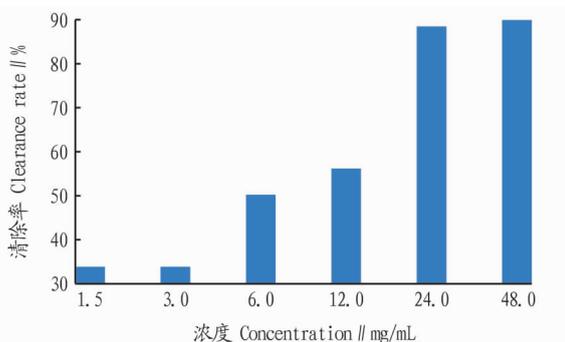


图 6 不同浓度枸杞果酱对 DPPH 自由基的清除率

Fig.6 DPPH radical scavenging rate of compound wolfberry jam with different concentration

**2.3.3 对超氧阴离子自由基的清除效果。**从图 7 可见,随着果酱浓度的增加,对超氧阴离子自由基的清除率呈增大趋势。当果酱浓度为 48 mg/mL 时,对超氧阴离子自由基的清除率达 42.82%。

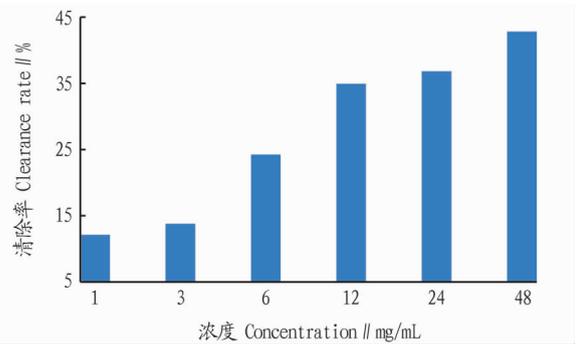


图 7 不同浓度枸杞复合果酱对超氧阴离子自由基的清除率

Fig.7 Superoxide anion radical scavenging rate of compound wolfberry jam with different concentration

**2.3.4 对羟自由基的清除效果。**从图 8 可见,随着果酱浓度的增加,羟自由基的清除率呈现上升趋势。当果酱浓度为 96 mg/mL 时,对羟自由基的清除率达到 87.53%。

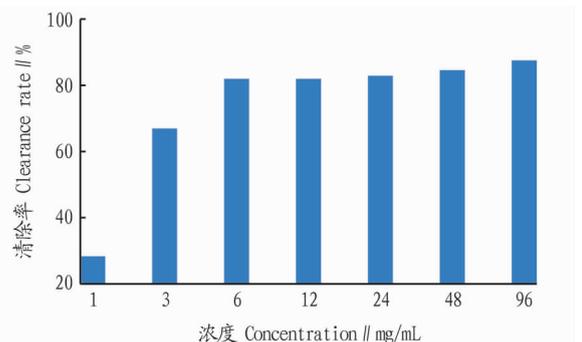


图 8 不同浓度复合枸杞果酱对羟自由基的清除率

Fig.8 Hydroxyl radical scavenging rate of compound wolfberry jam with different concentration

## 3 结论

该研究以百香果和白砂糖调节果酱的糖酸比,而传统调节糖酸比采用柠檬酸与白砂糖,用百香果代替柠檬酸,打破了传统果酱的工艺制法,减少了果酱中添加剂的使用量。其次通过单因素和 Box-Behnken 试验确定了复合枸杞果酱制备的最优工艺条件,并且研究其体外抗氧化活性,发现果酱具有较好的抗氧化能力,可为功能性复合枸杞果酱产品的开发提供一定的参考。

## 参考文献

- [1] 苏宇静,贺海明,孙兆军.中国枸杞资源及其在食品工业中的应用现状和开发前景[J].食品科学,2002,23(8):292-294.
- [2] 张云霞,刘敦华.枸杞功能性成分研究进展及深加工发展趋势[J].食品与药品,2009,11(5):67-69.
- [3] 张惠玲.枸杞的营养与功效[J].农业科学研究,2011,32(3):59-62.
- [4] 王心广,曹有龙.枸杞抗氧化功能研究进展[J].宁夏农林科技,2011,52(11):48-52.
- [5] 杨锋,黄永春,何仁,等.百香果加工适性的测定及提高其出汁率的研究[J].食品研究与开发,2008,29(5):82-86.
- [6] 何冬梅,刘红星,黄初升,等.百香果籽挥发油的提取研究[J].中国酿造,2010,29(3):150-153.
- [7] 霍丹群,蒋兰,马璐璐,等.百香果功能研究及其开发进展[J].食品工业科技,2012,33(19):391-395.
- [8] 刘军,朱有亮.草莓采果后的田间管理及保健功效[J].吉林蔬菜,2014(8):1-2.
- [9] 贾鲁彦.猕猴桃果酱加工工艺研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2014.

(下转第 145 页)

多植物种子的种子发芽率和发芽势,说明激素在促进种子萌发时有很重要的作用<sup>[5-12]</sup>。经过低温处理的五脉绿绒蒿种子,再用 IAA、GA<sub>3</sub> 和 6-BA 处理,其发芽率和发芽势均比对照组有明显的提高,IAA、GA<sub>3</sub>、6-BA 最适的处理浓度分别为 100、200、20 mg/L,其中,GA<sub>3</sub> 的促进作用最为明显,其发芽率可达 85%。由此可见,3 种激素对五脉绿绒蒿种子发芽有一定的促进作用,但所需浓度不同及处理后的发芽率存在一定的差异,说明他们对促进种子萌发的作用机理不同,IAA 通过调节 ATP 酶的活性来调控细胞的伸长;GA<sub>3</sub> 的主要作用是提高淀粉酶的活性,有利于种子萌发时所需有机物的供应;6-BA 主要是促进细胞的分裂;从这 3 种促进效率来看,GA<sub>3</sub> 的效果为最好,处理种子时,应该用 GA<sub>3</sub> 处理为主。

### 参考文献

- [1] 周海艺,张旭,徐畅隆,等.中国绿绒蒿属新资料[J].西北植物学报,2021,41(10):1781-1784.  
[2] 张旭,周海艺,徐畅隆,等.绿绒蒿属—中国新记录种——尼东绿绒蒿

(上接第 131 页)

- [15] 曹桂林.植物根际促生菌和微生物肥料研究进展浅析[J].南方农业,2020,14(27):209-210.  
[16] TIAN J H,LU X,CHEN Q Q,et al.Phosphorus fertilization affects soybean rhizosphere phosphorus dynamics and the bacterial community in karst soils[J].Plant and soil,2022,475(1/2):137-152.  
[17] 郑立伟,闫洪波,张丽,等.微生物肥料发展及作用机理综述[J].河北省科学院学报,2020,37(1):61-67.  
[18] 郑茗月,李海梅,赵金山,等.微生物肥料的研究现状及发展趋势[J].江西农业学报,2018,30(11):52-56.  
[19] BASU A,PRASAD P,DAS S N,et al.Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects[J].Sustainability,2021,13(3):1-20.  
[20] 汪焱,张英,苏贝贝,等.高寒区不同地域燕麦根际土壤微生物多样性研究[J].草地学报,2020,28(2):358-366.

(上接第 139 页)

- [10] 刘芳舒,张瑜,罗昱,等.无籽刺梨复合果酱配方工艺技术研究[J].食品科技,2015,40(1):107-111.  
[11] 尤丽新,胡楠楠,陈海燕,等.猕猴桃香蕉复合果酱的制作[J].现代食品,2017(13):89-90.  
[12] 李自强,刘琴,张斌,等.低糖金雀花复合果酱的研制[J].农学学报,2016,6(4):76-79.  
[13] 郭长江,杨继军.蔬菜、水果抗氧化作用的研究进展[J].中国公共卫生,2001,17(1):87-88.  
[14] 孟方方.赣南六个脐橙品种果皮体外抗氧化性研究[D].南昌:江西农业大学,2012.  
[15] 焦岩.大果沙棘黄酮分离纯化及生物活性研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2010.  
[16] 韩爱芝,黄军海,孟庆艳,等.大花罗布麻不同部位酚类物质含量及其抗氧化活性比较研究[J].食品科学,2014,35(13):127-131.  
[17] LI W,LIANG H,ZHANG M W,et al.Phenolic profiles and antioxidant ac-

- [J/OL].广西植物,2022-03-10[2022-04-15].https://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20220309.0919.002.html.  
[3] 龚宇,周惠祯,陈胡兰.近十年绿绒蒿属药用植物的研究进展[J].中药材,2020,43(3):758-763.  
[4] 周立华,黄荣福.青海植物志[M].西宁:青海人民出版社,1995:387.  
[5] 韦荣昌,白隆华,董青松,等.外源激素对药用植物黑草种子萌发的影响[J].种子,2012,30(1):92-94.  
[6] 刘建,王艺融,刘珂宇,等.贝叶叶绿绒蒿及其两个栽培种种子萌发比较[J].北方园艺,2021(9):74-79.  
[7] 左杰,张国栋,李紫倩,等.高山植物威氏绿绒蒿种子表型及萌发特性研究[J].种子,2021,40(9):8-14,149.  
[8] 潘春柳,吕惠珍,彭玉德,等.外源激素处理对线叶唇柱苣苔种子萌发的影响[J].种子,2011,30(1):24-27.  
[9] 李海彬,吴维,刘玉花,等.外源激素对结球芥菜种子萌发的影响[J].北方园艺,2010(10):24-27.  
[10] 肖杰,薛欢,苑景洪,等.外源激素对紫薇种子萌发的影响[J].浙江农业科学,2020,61(6):1119-1122.  
[11] 胡进耀,杨敬天,贺静,等.赤霉素浸种与层积时间对距瓣尾囊草种子萌发的影响[J].四川林业科技,2015,36(3):88-90.  
[12] 翁春雨,任军方,符瑞侃.外源激素对紫玉盘种子萌发的影响[J].安徽农业科学,2014,42(3):10462-10463,10530.

- [21] 刘台萱,曹鹏熙,马红梅,等.青藏高原土壤微生物多样性及其影响因素研究进展[J].环境生态学,2019,1(6):1-7.  
[22] WALTERS K E,MARTINY J B H.Alpha-,beta-, and gamma-diversity of bacteria varies across habitats[J].PLoS One,2020,15(9):1-17.  
[23] 柴晓虹,姚佑,李录山,等.12 株植物根际促生菌促生功能稳定性评价及鉴定[J].草原与草坪,2020,40(5):68-75.  
[24] 梁留阳,赵一通,张琳琳,等.烟株根围土壤解磷巨大芽孢杆菌的鉴定及其解磷能力研究[J].土壤通报,2020,51(6):1461-1466.  
[25] 郑文波,申飞,闫小梅,等.红壤中产吡啶乙酸并具解磷作用的促生菌筛选鉴定及促生效果研究[J].土壤,2015,47(2):361-368.  
[26] 刘虹波,乔志刚,王永铭,等.不同微生物菌肥对结球白菜产量和品质的影响[J].北方农业学报,2020,48(6):45-49.  
[27] 李涛,张朝辉,郭雅雯,等.国内外微生物肥料研究进展及展望[J].江苏农业科学,2019,47(10):37-41.  
[28] 孙成成,丁伟,潘兴兵,等.影响微生物菌剂应用稳定性的因素分析[J].植物医生,2019,32(4):19-23.

- itivity of Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp from different commercially available cultivars[J].Molecules,2012,17(12):14954-14967.  
[18] 马力,徐楚鸿,黄煜,等.硫酸苯酚法测定金菊花中多糖的含量[J].医药导报,2008,27(12):1511.  
[19] 高蓓.广陈皮黄酮类化合物和挥发油成分及其活性研究[D].武汉:华中农业大学,2011.  
[20] 白海娜,王振宇,刘瑞海,等.白藜芦醇与黑木耳多糖协同清除 ABTS 自由基活性的研究[J].现代食品科技,2014,30(3):64-68.  
[21] RE R,PELLEGRINI N,PROTEGGENTE A,et al.Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay[J].Free radical biology and medicine,1999,26(9/10):1231-1237.  
[22] 陈树俊,苏静,刘诚,等.老陈醋生产过程中总多酚、总黄酮含量及清除 DPPH 自由基能力的分析[J].食品科学,2009,30(17):158-162.  
[23] 徐清萍,敖宗华,陶文沂.恒顺香醋 DPPH 自由基清除活性成分研究[J].中国调味品,2004,29(7):19-23.  
[24] 王恩花,杨礼寿,逯凤肖,等.二氢杨梅素体外抗氧化活性研究[J].山地农业生物学报,2016,35(3):86-90.