

# 蜂花粉蛋白棒的配方优化及抗氧化特性研究

孙燕如 蒋璐璐 刘新月 郑丹 年晨曦 刘畅

(安徽师范大学生命科学学院, 芜湖 241000)

**摘要:** 为优化蜂花粉蛋白棒的制备工艺, 本研究通过单因素试验、正交试验以及质构分析, 以感官评价为主要指标, 优选出蜂花粉蛋白棒最佳配方, 并比较了蜂花粉添加前后蛋白棒制品的抗氧化特性。结果表明, 蜂花粉蛋白棒最优配方为蜂花粉3.5 g、蛋白粉12 g、木糖醇10 g、燕麦80 g、蛋清40 g。经质构检测后发现, 蜂花粉的添加虽使产品色泽变暗, 但对蜂花粉蛋白棒的质构特性无显著不良影响。此外, 所制得的蜂花粉蛋白棒的DPPH<sup>+</sup>、ABTS<sup>+</sup>自由基清除率较非蜂花粉蛋白棒分别提高了20%和10%。本研究提供了一种蜂花粉蛋白棒的配方及工艺, 为拓展蜂花粉产品的应用提供了参考。

**关键词:** 蜂花粉; 蛋白棒; 配方; 工艺优化; 抗氧化特性

## Study on the formula optimization and antioxidant properties of bee pollen protein bars

Sun Yanru Jiang Lulu Liu Xinyue Zheng Dan Nian Chenxi Liu Chang

(College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** To optimize the preparation process of bee pollen protein bars, this study primarily used sensory evaluation as the main indicator, conducted single-factor experiments, orthogonal experiments, and texture analysis to select the best formula for bee pollen protein bars. Additionally, it compared the antioxidant properties of protein bars before and after the addition of bee pollen. The results indicated that the optimal formula for bee pollen protein bars consisted of 3.5 g of bee pollen, 12 g of protein powder, 10 g of xylitol, 80 g of oats, and 40 g of egg white. Texture analysis revealed that although the addition of bee pollen darkened the product's color, it did not significantly adversely affect the texture characteristics of the bee pollen protein bars. Additionally, the DPPH<sup>+</sup> and ABTS<sup>+</sup> free radical scavenging rates of the pollen protein bars produced were respectively enhanced by 20% and 10% compared to non-pollen protein bars. This study offers a formulation and production process for pollen protein bars, providing a reference for expanding the applications of pollen products.

**Key words:** bee pollen; protein bar; formula; process optimization; antioxidant activity

### 1 引言

蜂花粉是蜜蜂采集花粉后储存在蜂巢穴中的天然产物, 具有丰富的营养成分和生物活性<sup>[1]</sup>。研究表明, 蜂花粉内部富含蛋白质, 其蛋白质含量约为15%<sup>[2]</sup>。此外, 蜂花粉中含有多种氨基酸、脂肪酸、维生素、矿物质及抗氧化物质, 如黄酮类、酚类化合物等, 具有抗炎、抗菌、抗氧化等多种生理功能<sup>[3, 4]</sup>。以蜂花粉为原料制作饼干<sup>[5]</sup>、司康饼<sup>[6]</sup>等烘焙及口香糖

制品<sup>[7]</sup>, 能增加食品的抗氧化活性和营养价值。

蛋白棒作为一种补充蛋白质为主的高蛋白食品<sup>[8]</sup>, 因其方便携带、营养丰富等特点, 在市场上逐渐受到青睐。将蜂花粉融入蛋白棒的制备中, 不仅能够丰富蛋白棒的营养成分, 还能赋予其独特的风味和潜在的保健功能, 具有广阔的市场前景。然而, 目前关于蜂花粉蛋白棒制备工艺的研究相对较少, 产品在口感、风味和品质稳定性等方面仍存在提升空间。因此, 本

基金项目: 安徽省自然科学基金(2108085QC134); 安徽师范大学国家级大学生创新创业训练计划项目(202410370146)

作者简介: 孙燕如(1990-), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为蜂产品医疗与保健、蜂产品应用与加工, E-mail: sunyanru@ahnu.edu.cn

研究旨在通过对蜂花粉蛋白棒制备工艺的优化，开发出一款口感良好、营养丰富且具有独特蜂花粉风味的蛋白棒产品，为其工业化生产提供技术支持。

本研究以蜂花粉、蛋白粉等为主要原料，在传统蛋白棒制备工艺基础上制备蜂花粉蛋白棒，以单因素试验和正交试验优化蜂花粉蛋白棒生产工艺，通过体外抗氧化试验对蜂花粉蛋白棒进行抗氧化活性分析评价，旨在开发具有高蛋白和抗氧化性以及抗饥饿功效的蜂花粉蛋白棒，进一步丰富蛋白棒品种。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

油菜蜂花粉：忻州市五台山蜂业有限公司；蛋白粉：汤臣倍健股份有限公司；燕麦：桂格食品有限公司；木糖醇：河南艾莱娜生物科技有限公司；泡打粉：安琪酵母股份有限公司；酵母粉：安琪酵母股份有限公司；鸡蛋清：新鲜鸡蛋分离所得；2,2'-联氮双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸二铵（ABTS）、1,1-苯基-2-三硝基苯肼（DPPH）：上海麦克林生化科技有限公司。

2.2 仪器与设备

LE104E/02型电子天平，梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；FW100型高速粉碎机，天津市泰斯特仪器有限公司；TA.XTC-18质构仪，上海保圣实业发展有限公司；VH-36型烤箱，佛山市南海泊菲机电设备有限公司。

2.3 实验方法

2.3.1 蜂花粉蛋白棒制作

蜂花粉蛋白棒制作工艺流程及操作要点参考韩丙倩<sup>[9]</sup>的方法，并略有修改。蜂花粉经高速粉碎机粉碎后，过100目筛，储存在-20℃备用。取3.5 g蜂花粉与12 g乳清蛋白粉，加入80 g燕麦、10 g木糖醇、1 g酵母粉混合，分离40 g蛋清均匀翻拌。形成包裹燕麦糊状后，取出平铺在油布上，擀压为1 cm厚度，边缘用模具固定防止塌陷，在上火160℃、下火160℃的烘烤条件下烘烤25分钟左右，切成条状，冷却，即得蜂花粉蛋白棒。样品烤制后经室温冷却，即邀请评测员进行感官评价。余下部分储存在-20℃，在进行质构及抗氧化检测之前预先取出样品，恢复室温后进行相应测定。

2.3.2 单因素试验设计

探究蜂花粉添加量（0.5、2.0、3.5、5.0、6.5 g）、蛋白粉添加量（7.0、12.0、17.0、22.0、27.0

g）、燕麦添加量（60、80、100、120、140 g）、木糖醇添加量（4.0、6.0、8.0、10.0、12.0 g）对蜂花粉蛋白棒感官评分和质构的影响，每组配方进行三组平行实验。

2.3.3 正交试验设计

结合单因素试验结果，以蜂花粉、蛋白粉、燕麦、木糖醇添加量为考察因素，利用Minitab软件<sup>[10]</sup>设计蜂花粉蛋白棒配方正交试验，具体因素与水平见表1。

2.3.4 感官评价

根据蜂花粉蛋白棒自身特点，参照《饼干质量

表1 蜂花粉蛋白棒配方正交试验

| 水平 | 因素        |           |          |           |
|----|-----------|-----------|----------|-----------|
|    | A蜂花粉添加量/g | B蛋白粉添加量/g | C燕麦添加量/g | D木糖醇添加量/g |
| 1  | 2         | 7         | 60       | 8         |
| 2  | 3.5       | 12        | 80       | 10        |
| 3  | 5         | 17        | 100      | 12        |

表2 蜂花粉蛋白棒感官评价标准

| 品质项目        | 评分标准                                        | 得分/分  |
|-------------|---------------------------------------------|-------|
| 色泽<br>(20分) | 色泽均匀，表面平整，符合该产品该有的色泽                        | 16~20 |
|             | 色泽较深或暗，表面较平整，较符合该产品的色泽                      | 11~15 |
|             | 色泽很深或很暗且不均匀，表面不平整，颜色异样                      | <11   |
| 香味<br>(20分) | 有香味，蜂花粉香气纯正，无糊味苦味等异味                        | 16~20 |
|             | 香味较淡，蜂花粉香气较纯正，无糊味苦味等异味                      | 11~15 |
|             | 无香味，蜂花粉香气不纯，味道过浓（有蜂花粉苦味，或有甜腻感）或者过淡，有糊味苦味等异味 | <11   |
| 硬度<br>(20分) | 硬度适中，容易咬断且有咀嚼感                              | 16~20 |
|             | 硬度较大，不太容易咬断或较无嚼劲                            | 11~15 |
|             | 硬度过大或过小，难以咬断或没有嚼劲                           | <11   |
| 黏性<br>(20分) | 黏性适中，不粘牙                                    | 16~20 |
|             | 黏性较为适中，不粘牙但存在感较明显                           | 11~15 |
|             | 黏性过大，粘牙                                     | <11   |
| 口感<br>(20分) | 软硬适中，咀嚼感适中，有蜂花粉的味道，无苦味，口感好                  | 16~20 |
|             | 软硬较不适中，蜂花粉味道较淡或较浓，无苦味，口感较好                  | 11~15 |
|             | 过软或过硬，蜂花粉味道过浓（有蜂花粉苦味，或有甜腻感）或者过淡，有苦味，口感较差    | <11   |

通则》(GB/T 20980-2021)<sup>[11]</sup>,并适当修改,制定的具体感官评价标准见表2。邀请20名食品专业学生作感官评定人员对蜂花粉蛋白棒进行感官评价,男女比例1:1,主要针对蜂花粉蛋白棒的色泽、香味、硬度、可接受度和口感取平均值作为蜂花粉蛋白棒的感官评价结果,感官评价标准见表2。

### 2.3.5 质构测定

采用三点弯曲测试<sup>[12]</sup>,使用质构仪对蜂花粉蛋白棒的质构特性(硬度、咀嚼性、粘度)进行测定<sup>[13]</sup>,选择圆柱形探头,测前速度1 mm/s,测试速度1 mm/s,测后速度1 mm/s,下压距离6 mm,持续时间5 s,触发值5.0 g。

### 2.3.6 体外抗氧化活性测定

#### 2.3.6.1 DPPH 自由基清除能力测定

参考涂永元、尹丽等<sup>[14,15]</sup>的测试方法,并稍作修改。选用未添加蜂花粉蛋白棒作为对照组,样品和对照品用60%乙醇溶液配成1000  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 母液,稀释得到不同浓度的供试溶液。将96孔板分成样品组及空白组,分别加入等体积0.1  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的DPPH溶液,混匀静置,每组设3个复孔,样品组与空白组均设置空白对照,室温避光反应30 min,在517 nm波长下测定吸光度。以60%乙醇代替供试样品作为空白,60%乙醇代替DPPH溶液作为本底。每组样品吸光度取平均值,计算各测试样的DPPH自由基清除率。清除率公式为:

$$E_{\text{DPPH}} = \left(1 - \frac{A_s - A_{sb}}{A_c - A_{cb}}\right) * 100\%$$

式中:  $E_{\text{DPPH}}$ 表示DPPH自由基清除率,  $A_s$ 表示样品组测定吸光度,  $A_{sb}$ 表示样品空白组测定吸光度,  $A_c$ 表示对照组测定吸光度,  $A_{cb}$ 表示对照空白组测定吸光度。

#### 2.3.6.2 ABTS 自由基清除能力测定

根据ABTS清除能力检测试剂盒说明书进行操作。配置样品和对照品起始浓度为1000  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ ,稀释得到不同浓度的供试溶液。取96孔板分为空白组和对照组并各自设置对照组。以60%乙醇代替测试样品作为空白组,避光反应6 min,在734 nm波长下测定吸光度。每组设置3个复孔,样品吸光度取平均值,计算各测试样的ABTS自由基清除率。清除率公式为:

$$D_{\text{ABTS}} = \left(1 - \frac{A_s - A_c}{A_b - A_c}\right) * 100\%$$

式中:  $D_{\text{ABTS}}$ 表示ABTS自由基清除率,  $A_s$ 表示样品组测定吸光度,  $A_b$ 表示样品空白组测定吸光度,  $A_c$ 表示对照组测定吸光度。

## 2.4 数据处理

采用 Excel 2019和 SPSS 22.0软件对试验数据进行统计分析,通过单因素方差分析确定各因素对蜂花粉蛋白棒感官品质的影响显著性,以  $P<0.05$ 作为差异显著的判断标准。

## 3 结果与分析

### 3.1 单因素试验结果

#### 3.1.1 蜂花粉添加量对感官品质的影响

图1展示了蜂花粉添加量对蜂花粉蛋白棒感官品质的影响,其中不同小写字母表示组间差异显著( $P<0.05$ ),下同。由图1可知随着蜂花粉添加量的增加,蛋白棒色泽变得金黄,添加过多蛋白棒表面色泽变暗,感官评分呈现先上升后下降的趋势。随着蜂花粉添加量的上升,蛋白棒硬度、咀嚼性、黏聚性均呈现先上升后下降的趋势。当添加量低于3.5 g时,蛋白棒缺少蜂花粉的香味。当添加量超过3.5 g

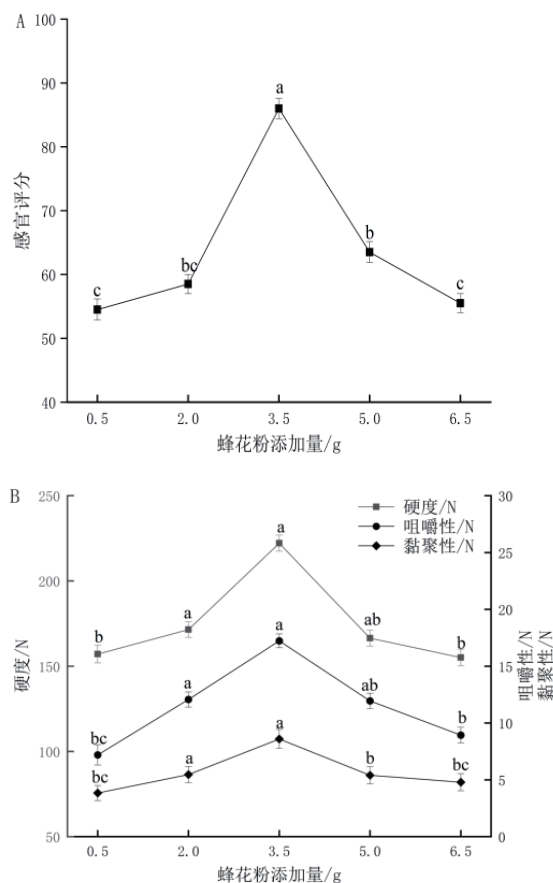


图1 蜂花粉添加量对蜂花粉蛋白棒感官品质的影响

时,蛋白棒的口感变得粗糙,出现明显的颗粒感,且颜色加深,整体感官评分、硬度、咀嚼性、黏聚性均下降。这是因为蜂花粉具有特有的草本味和轻微苦涩感,过量时会掩盖蛋白棒的甜香或奶香,甚至产生不愉悦的后味。并且蜂花粉吸水性较强,会争夺配方中的水分,导致成品变硬或易碎,影响口感和外观。当蜂花粉添加量为3.5 g时,感官评分为 $82.75 \pm 0.56$ ,蛋白棒硬度、咀嚼性、黏聚性最高,综合表现较好。

### 3.1.2 蛋白粉添加量对感官品质的影响

由图2可知,随着蛋白粉添加量的增加,感官评分出现先增加后降低的情况,蛋白棒的硬度、咀嚼性、黏聚性也呈现了先增加后降低的趋势。邹正丽等<sup>[16]</sup>研究发现乳清蛋白粉的整蛋白型制剂应用效果可靠,可改善机体营养状况、增强免疫力、促进体能恢复,有助于减少不良反应及感染的发生。蛋白粉添加量较低时,蛋白棒成型差,蛋白含量低,营养低。当蛋白粉添加量为12 g时,蛋白棒具有较好的韧性和口感,感官评分为 $84 \pm 0.078$ ,同时蛋白棒的硬度、咀

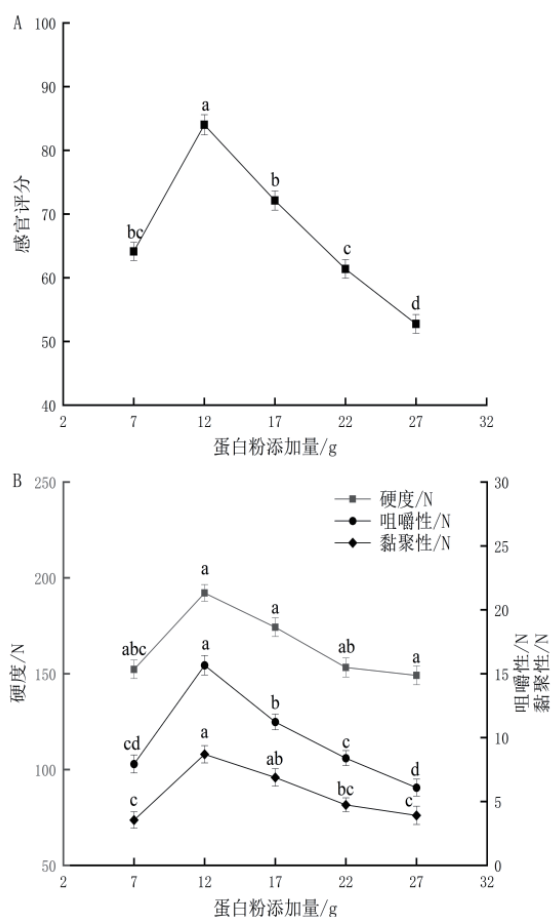


图2 蛋白粉添加量对蜂花粉蛋白棒感官品质的影响

嚼性、黏聚性均为最高。继续增加蛋白粉添加量,蛋白棒口感过硬,影响咀嚼性,感官评分降低。这是因为过多的蛋白粉会使蛋白棒中的蛋白质相互交联,形成紧密的结构,导致口感变差。

### 3.1.3 燕麦添加量对感官品质的影响

图3展示了燕麦添加量对蜂花粉蛋白棒感官品质的影响。燕麦赋予蛋白棒丰富的膳食纤维和独特的口感,随着燕麦添加量的增加,蛋白棒的口感逐渐变得酥脆,蛋白棒的硬度、咀嚼性、黏聚性有先增大后下降的趋势;燕麦含量不足时,蛋白棒质地柔软很难成型,没有酥脆的口感。但当添加量超过80g时,蛋白棒的成型性变差,容易破碎。当燕麦添加量为80g时,感官评分为 $87.5 \pm 0.43$ ,此时硬度、咀嚼性、黏聚性均为最高,蛋白棒既具有良好的酥脆口感,又能保持较好的成型性。

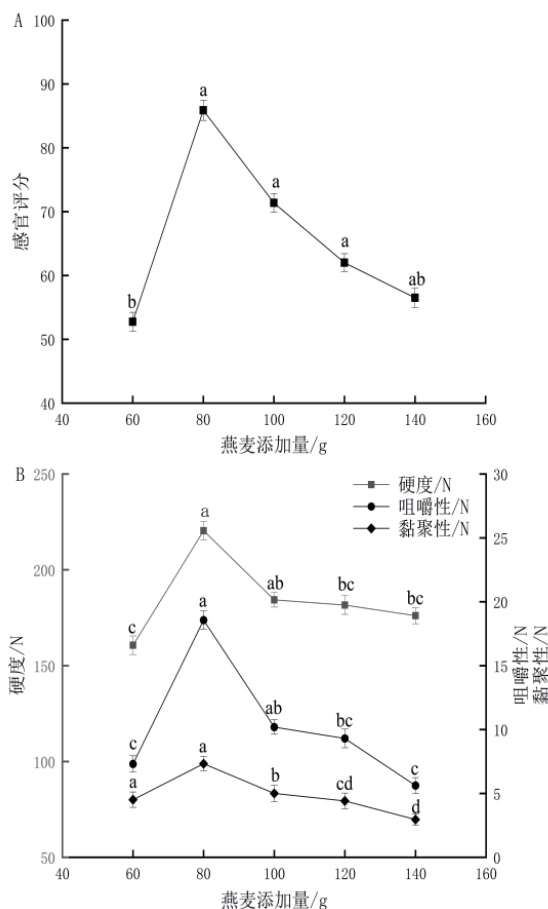


图3 燕麦添加量对蜂花粉蛋白棒感官品质的影响

### 3.1.4 木糖醇添加量对感官品质的影响

图4展示了木糖醇添加量对蜂花粉蛋白棒感官品质的影响,木糖醇作为甜味剂,其添加量对蛋白棒的

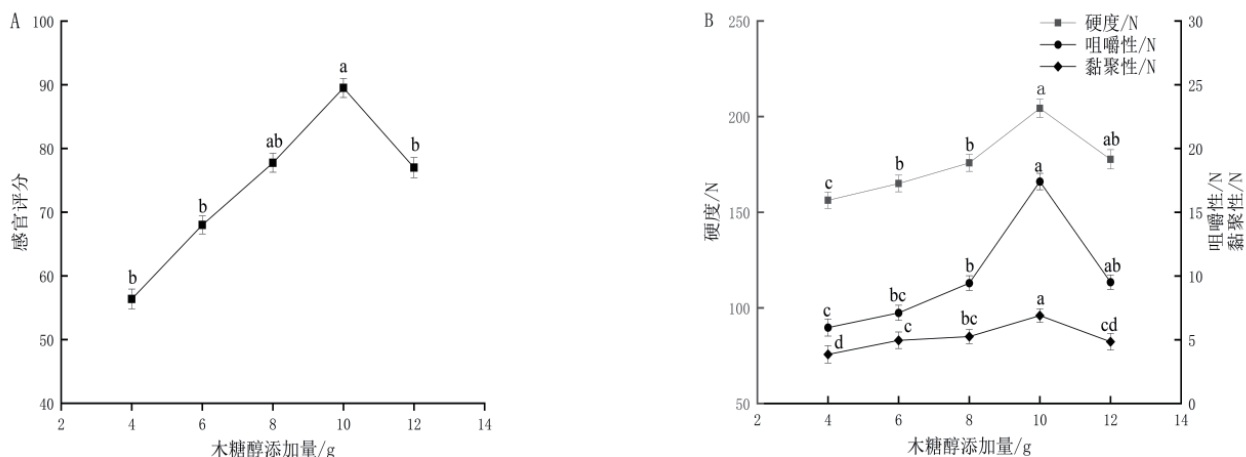


图 4 木糖醇添加量对蜂花粉蛋白棒感官品质的影响

表3 蜂花粉蛋白棒配方正交试验结果

| 序号 | 因素          |             |          |           | 感官评分  |
|----|-------------|-------------|----------|-----------|-------|
|    | A蜂花粉添加量/g   | B蛋白粉添加量/g   | C燕麦添加量/g | D木糖醇添加量/g |       |
| 1  | 1           | 1           | 1        | 1         | 63.28 |
| 2  | 1           | 2           | 2        | 2         | 79.47 |
| 3  | 1           | 3           | 3        | 1         | 69.94 |
| 4  | 2           | 1           | 2        | 1         | 78.44 |
| 5  | 2           | 2           | 3        | 1         | 79.78 |
| 6  | 2           | 3           | 1        | 2         | 75.09 |
| 7  | 3           | 1           | 3        | 2         | 72.13 |
| 8  | 3           | 2           | 1        | 1         | 69.5  |
| 9  | 3           | 3           | 2        | 1         | 74.81 |
| K1 | 212.69      | 213.85      | 207.87   | 207.87    |       |
| K2 | 233.31      | 228.75      | 232.72   | 232.72    |       |
| K3 | 216.44      | 219.84      | 221.85   | 221.85    |       |
| k1 | 70.89666667 | 71.28333333 | 69.29    | 69.29     |       |
| k2 | 77.77       | 76.25       | 77.5733  | 77.5733   |       |
| k3 | 72.1467     | 73.28       | 73.95    | 73.95     |       |
| R  | 6.8733      | 4.9667      | 8.2833   | 8.2833    |       |

甜度和口感有重要影响<sup>[17, 18]</sup>。木糖醇添加量对蛋白棒感官评分有先上升后下降的趋势，其硬度、咀嚼性、黏聚性随木糖醇添加量增加有先上升后下降趋势。当木糖醇添加量低于10 g时，蛋白棒口感不佳，甜度过低，风味差。当木糖醇添加量为10 g时，蛋白棒甜度适中，口感良好，感官评分最高，黏聚性、咀嚼性最高。添加量过高，则会使蛋白棒过于甜腻，且在烘烤过程中容易发生焦糖化反应，导致颜色过深，感官评分变低，黏性增加，口感不佳。

3.2 配方优化结果

由表 3可知，各因素影响蜂花粉蛋白棒感官评价

的顺序为 C=D>A>B，即燕麦添加量=木糖醇添加量>蜂花粉添加量>蛋白粉添加量，得出最佳的产品配方为A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>。与正交表中感官评分最高的A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>组一致，感官评分为79.78，即蜂花粉添加量 3.5 g、蛋白粉添加量 12.0 g、燕麦添加量80.0 g以及木糖醇添加量10.0 g。

3.3 体外抗氧化结果

为进一步探索蜂花粉的抗氧化活性能力，采用 DPPH、ABTS自由基清除试验进一步研究，分析结果如图5所示。DPPH清除活性测试中，在0~1000 μg/μL 浓度范围下，随着待测样品浓度的升高，它们对DPPH

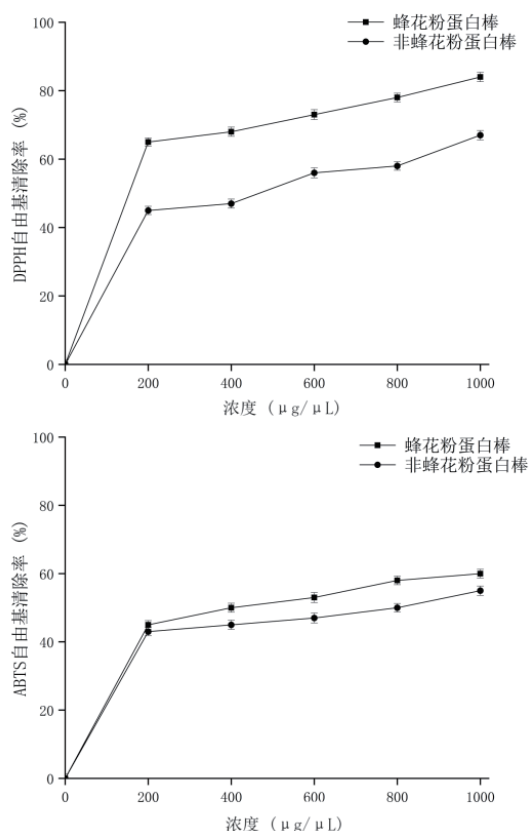


图5 DPPH和ABTS自由基清除活性结果

清除能力均呈现出显著的增强趋势,且其清除率与各自的浓度之间存在着明确的剂量效应关系。1000  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时,蜂花粉蛋白棒 DPPH清除率达到88%。

ABTS清除活性测试中,待测样品在0~1000  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 的浓度范围内,ABTS自由基清除率与DPPH清除率变化趋势较一致,整体仍呈现持续升高。ABTS清除率均呈浓度依赖性,1000  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时蜂花粉蛋白棒样品对ABTS自由基清除率达到60%。

### 3.4 蜂花粉蛋白棒成品展示

由图6可知,该蜂花粉蛋白棒外观形态规整,条形错落有致,展现出良好的成型工艺。色泽呈现出均匀且诱人的金黄色,源自精准烘烤工艺,赋予产品视觉上的吸引力,传递出自然、健康的质感。

## 4 结论

本研究以感官评价为标准,重点关注蜂花粉、



图6 蜂花粉蛋白棒成品

蛋白粉、燕麦、木糖醇对蜂花粉蛋白棒感官评价及质构的影响。在单因素试验的基础上,通过正交试验设计和质构分析获得蜂花粉蛋白棒的最佳工艺条件为蜂花粉3.5 g、蛋白粉12 g、木糖醇10 g、燕麦80 g、蛋清40 g、烘烤温度160℃、烘烤时间25 min。在该工艺条件下,蜂花粉蛋白棒色泽均匀、口感细腻、香味浓郁协调,兼具蜂花粉和蛋白粉的多种营养成分,且有较好的抗氧化能力。

## 参考文献

- [1] KHALIFA SAM, ELASHAL MH, YOSRI N, et al. Bee pollen: current status and therapeutic potential[J]. *Nutrients*, 2021, 13(6): 1876.
- [2] 王秀红. 蜂花粉: 功能活性成分有哪些? 为什么要破壁? [J]. *中国蜂业*, 2024, 75(04): 15-17.
- [3] 董彩文, 邱彦军, 王明雷, 等. 蜂花粉黄酮的固态发酵提取工艺优化及抗氧化活性研究 [J]. *中国调味品*, 2025, 50(05): 217-222.
- [4] 张贵谦, 曹喆, 李万里, 等. 蜂产品的营养与生物功能研究进展 [J]. *中国食物与营养*, 2025, 31(06): 52-57, 29.
- [5] 崔欣茹, 王雨生, 慕鸿雁, 等. 蜂花粉和蜂蜜的添加及焙烤条件对曲奇品质及功能特性的影响 [J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(08): 118-124.
- [6] 徐向波, 尤香玲, 胡茂琴, 等. 蜂花粉青稞司康饼的加工工艺研究 [J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(11): 56-60.
- [7] 孙燕如, 黄婉婉, 尚盈盈, 等. 蜂花粉口香糖的工艺研究 [J]. *中国蜂业*, 2024, 75(09): 39-41, 43.
- [8] 史晓斐, 王才立, 张钊, 等. 高蛋白营养棒用大豆蛋白品质的综合评价 [J]. *中国粮油学报*, 2025, 40(03): 103-110.
- [9] 杜彩霞, 李顺秀, 韩丙倩, 等. 酶解型大豆分离蛋白在低温烤肉中的应用 [J]. *食品工业*, 2019, 40(12): 77-81.
- [10] 程庆兵, 郑正, 王雪, 等. 利用 MINITAB 多元统计法分析不同企业复方丹参片质量 [J]. *化学分析计量*, 2024, 33(05): 101-107.
- [11] 全国焙烤制品标准化技术委员会 (SAC/TC 488). 饼干质量通则: GB/T 20980-2021[S]. 中国标准出版社, 2021.
- [12] 康效宁, 李梁, 吉建邦. 三点弯曲法测定槟榔干果纤维层弹性模量研究 [J]. *食品与机械*, 2018, 34(10): 212-216.
- [13] 罗丽华, 穆慧玲, 杨昌林, 等. 蛋白棒的质构分析与感官评价研究 [J]. *农业机械*, 2012(21): 89-92.
- [14] 尹丽, 孟学林. 正交试验法优化紫苏叶中总黄酮提取工艺及体外抗氧化活性研究 [J]. *饲料研究*, 2024, 47(4): 99-103.
- [15] 涂永元. 檀香油提取方法、成分及抗氧化活性比较研究 [J]. *中国食品添加剂*, 2025, 36(08): 8-14.
- [16] 邹正丽, 胡方芳. 添加乳清蛋白粉的整蛋白型制剂应用于食管癌同步放化疗效果评价 [J]. *临床内科杂志*, 2025, 42(05): 408-410.
- [17] 刘洋, 巩敏, 张梓萱, 等. 木糖醇对发酵玫瑰酱风味物质及微生物多样性的影响 [J]. *食品与发酵工业* [J/OL], 2025: 1-13.
- [18] 王川东, 张君奇, 刘丁源, 等. 微生物共利用木糖和葡萄糖生产化学品研究进展 [J]. *化工进展*, 2023, 42(01): 354-372. 