DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260211004
引用格式: 刘宇婷, 冯旺, 董丽红, 等. 黑芝麻黑豆胶原蛋白肽固体饮料配方优化及其品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(16): 1–8.
Liu Yuting, Feng Wang, Dong Lihong, et al. Formula optimization of *Sesamum indicum* L.-*Glycine max* (L.) Merr.-collagen peptide solid beverage and its quality analysis [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(16): 1–8. (in Chinese with English abstract).

黑芝麻黑豆胶原蛋白肽固体饮料配方优化及其品质分析

刘宇婷[1,2,3], 冯　旺[1], 董丽红[1*], 张瑞芬[1], 贾栩超[1], 梁　珊[1], 张名位[1,2]

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广州 510610; 2. 中原食品实验室, 漯河　462000; 3. 郑州大学生命科学学院, 郑州　450001)

摘　要: 目的　以黑芝麻、黑豆、胶原蛋白肽为主要原料, 辅以麦芽糊精、菊粉、蔗糖和海藻酸钠, 优化其配方并开发一种兼具功能与食味品质的复合固体饮料。**方法**　黑芝麻黑豆胶原蛋白肽固体饮料以感官评分、冲调性为指标, 采用单因素试验与正交试验对黑芝麻、黑豆、胶原蛋白肽添加量进行配方优化, 并对所得产品主要营养活性成分, 体外抗氧化活性, 以及粉体特性进行评价。**结果**　复合固体饮料的最佳配比为: 黑芝麻 25.0%、黑豆 15.0%、胶原蛋白 6.0%、麦芽糊精 42.7%、菊粉 10.0%, 蔗糖 1.0%、海藻酸钠 0.3%。在此配方下, 产品粉体均匀细腻, 口感醇厚顺滑, 感官评分最高; 其蛋白、脂肪含量分别为 17.7%和 17.1%, 总酚 13.10 mg GAE/g, 黑色素 10.02 mg SME/g, 花色苷 0.15 mg CGE/g, 具有一定的抗氧化活性, 粉体特性分析结果显示其具有良好的冲调分散性和流动性。**结论**　本研究成功研制出一款感官品质优良、营养丰富且具有抗氧化功能的黑芝麻黑豆胶原蛋白肽固体饮料, 为黑芝麻黑豆深加工产品的开发与产业化应用提供理论依据和技术支撑。

关键词: 黑芝麻; 黑豆; 胶原蛋白肽; 固体饮料; 抗氧化性; 冲调性
中图分类号: TS201.1　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)16–0001–08

Formula optimization of *Sesamum indicum* L.-*Glycine max* (L.) Merr.-collagen peptide solid beverage and its quality analysis

LIU Yu-Ting[1,2,3], FENG Wang[1], DONG Li-Hong[1*], ZHANG Rui-Fen[1], JIA Xu-Chao[1], LIANG Shan[1], ZHANG Ming-Wei[1,2]

(1. *Sericultural & Agri-food Research Institute*, *Guangdong Academy of Agricultural Sciences*, *Key Laboratory of Functional Foods*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing*, *Guangzhou* 510610, *China*; 2. *Food Laboratory of Zhongyuan*, *Luohe* 462000, *China*; 3. *College of Life Science*, *Zhengzhou University*, *Zhengzhou* 450001, *China*)

收稿日期: 2026-02-11
基金项目: 国家自然科学基金项目(32572501); 广东省科学技术协会青年科技人才培育计划项目(SKXRC2025478); 广东省农业科学院“金颖人才”项目(R2026PY-TJ021)

第一作者: 刘宇婷(2000—), 女, 主要研究方向为功能食品。E-mail: 1981172895@qq.com
***通信作者:** 董丽红(1991—), 女, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为功能食品。E-mail: dolify@163.com

ABSTRACT: Objective To optimize the formula and develop a composite solid beverage with both functional and eating qualities, utilizing *Sesamum indicum* L., *Glycine max* (L.) Merr. and collagen peptide as the main raw materials, supplemented by maltodextrin, inulin, sucrose and sodium alginate. **Methods** The solid beverage of *Sesamum indicum* L.-*Glycine max* (L.) Merr.-collagen peptide was evaluated based on sensory scores and reconstitution properties. Single-factor experiments and orthogonal experiments were conducted to optimize the formula for the addition amounts of *Sesamum indicum* L., *Glycine max* (L.) Merr. and collagen peptide. The main nutritional components and active ingredients of the obtained product were evaluated, and the *in vitro* antioxidant activities and the powder properties of the product were also evaluated. **Results** The optimal formula for the composite solid beverage was determined as follows: *Sesamum indicum* L. 25.0%, *Glycine max* (L.) Merr. 15.0%, collagen peptide 6.0%, maltodextrin 42.7%, inulin 10.0%, sucrose 1.0% and sodium alginate 0.3%. Under this formula, the product exhibited a uniform and fine texture, a mellow and smooth taste, and achieved the highest sensory score. Its protein and fat content were 17.7% and 17.1%, respectively. The content of total phenolics, melanin and anthocyanins were 13.10 mg GAE/g, 10.02 mg SME/g and 0.15 mg CGE/g, respectively, demonstrating certain antioxidant activities. The powder characteristic analysis results indicated that it possessed good reconstitution-dispersibility and flowability. **Conclusion** This study successfully develops a *Sesamum indicum* L.-*Glycine max* (L.) Merr.-collagen peptide solid beverage with excellent sensory quality, rich nutrition and antioxidant function, providing a theoretical basis and technical support for the development and industrial application of deep-processed *Sesamum indicum* L. and *Glycine max* (L.) Merr. products.

KEY WORDS: *Sesamum indicum* L.; *Glycine max* (L.) Merr.; collagen peptide; solid beverage; antioxidant activities; reconstitution properties

0 引 言

随着人们营养健康意识提升, 具有特定健康功能的固体饮料市场迅速发展[1]。传统药食两用的黑色食品, 包括黑芝麻、黑豆、黑米、黑木耳等, 因其丰富的多酚、花青素、蛋白质、不饱和脂肪酸等营养活性成分, 在美容养颜、减脂降糖等保健养生领域备受关注, 常被用作功能性固体饮料的原料或辅料[2−3]。值得注意的是, 与其他食品相比, 黑色食品中的“黑色素”是一类独特的健康功能因子[4], 从化学结构差异可分为两大类: 第一类为花色苷, 主要存在于黑米、黑豆、桑葚等食物中[5]; 第二类是大分子聚合物黑色素, 广泛分布在黑芝麻、黑木耳、乌鸡等食物中[6]。体内和体外试验证明, 天然黑色素具有多种促进健康的作用, 如抗氧化和免疫调节活性、降血糖和降血脂作用、肝脏和胃肠道保护作用, 使其在功能食品领域具有重要的应用价值[7−8]。

黑芝麻是典型的富含大分子黑色素的粮油作物, 中医记载其具有“补肝肾、益精血、润肠道”等功效; 现代营养学研究表明, 黑芝麻具有抗氧化、抗炎、抗癌、神经保护、降血压和降血糖特性, 其食用价值和药用功能与其丰富的油脂、蛋白质、黑色素、木脂素等营养功能成分密切相关[9]。黑豆是优质植物蛋白来源, 富含花色苷、异黄酮及膳食纤维, 具有抗氧化、降脂及调节肠道功能的作用[10]。胶原蛋白肽是由两个或两个以上氨基酸组成的小分子量胶原蛋白, 具有易于消化吸收、能促进成纤维细胞增殖及胶原合成的特性, 可起到修复细胞、延缓衰老、促进骨骼生长等作用, 作为美容抗衰类产品的核心原料被广泛应用[11−12]。近些年, 以黑芝麻、黑豆等黑色食品为原料研制的固体饮料较多, 如黑芝麻复合固体饮料[13]、黑豆复合代餐粉[14]、黑果代餐粉[15]等。然而, 将黑芝麻、黑豆与胶原蛋白肽进行系统性复配, 并探究其配方适宜性及协同作用的报道较少[16]。因此, 将传统植物基黑色营养与现代动物基胶原蛋白肽相结合, 开发兼具“内在筑基”与“外在修颜”的功能性固体饮料, 具有广阔的市场前景和研发价值[17]。

本研究以黑芝麻、黑豆、胶原蛋白肽等为原料, 通过单因素试验和正交试验优化固体饮料中黑芝麻、黑豆和胶原蛋白肽的最佳配比, 并对产品的营养功能成分、抗氧化活性及粉体冲调分散性进行评价, 开发出一款具有抗氧化功效的复合固体饮料, 为黑芝麻、黑豆等黑色食品精深加工利用及功能性产品开发与应用提供思路。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黑芝麻(品种 F5000, 产自湖北武汉); 黑豆(青仁黑豆, 产自山东济宁); 胶原蛋白肽、菊粉、麦芽糊精、蔗糖、海藻酸钠(食品级, 广州力衡临床营养品有限公司)。

没食子酸(纯度≥98%)、矢车菊素-3-O-葡萄糖苷(纯度≥95%)(上海源叶生物科技有限公司); 鱿鱼墨黑色素(纯度

≥99%)、水溶性维生素 E (Trolox, 纯度≥98%)、荧光素二钠盐(纯度>99%)(美国 sigma 公司); 铁还原抗氧化能力(ferric reducing antioxidant power, FRAP)试剂盒(生化级, 碧云天生物技术有限公司); 甲醇、乙醇(分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司); NaOH[分析纯, 福晨(天津)化学试剂有限公司]; H_2O_2(纯度 30%, 广东广式试剂科技有限公司)。

1.2　仪器与设备

PEO-6 烤箱(恒联烤箱设备有限公司); LG-100 粉碎机(浙江瑞安市百信制药机械有限公司); V-10 型混合机(广州旭朗机械有限公司); Heraeus Multifuge X1 型离心机(美国赛默飞世尔科技公司); Infinite M200pro 酶标仪(奥地利 TECAN 公司); TU-1900 紫外分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); BS124S 分析天平(精度 0.0001 g, 德国赛多利斯科学仪器公司)。

1.3　实验方法

1.3.1　黑芝麻黑豆胶原蛋白肽固体饮料的制备工艺

黑芝麻在烤箱中经过 150 ℃烤制 12 min, 黑豆在 180 ℃条件下烤制 10 min, 烤制后的黑芝麻、黑豆进行 30 s 粗粉碎; 将黑芝麻粉、黑豆粉与胶原蛋白肽按不同比例混合后, 加入适量菊粉、麦芽糊精、蔗糖、海藻酸钠等辅料进行 60 s 粉碎, 过 80 目筛即得复合固体饮料粉备用。工艺流程图如图 1。

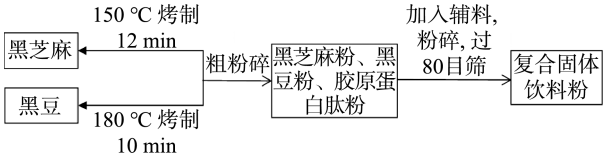


图 1　黑芝麻黑豆胶原蛋白肽固体饮料工艺流程图

Fig.1　Process flow chart of *Sesamum indicum* L.-*Glycine max* (L.) Merr.-collagen peptide solid beverage

1.3.2　单因素试验

根据前期预实验, 先固定辅料添加量为菊粉 10.0%、蔗糖 1.0%、海藻酸钠 0.3%, 再分别以黑芝麻、黑豆和胶原蛋白肽添加量为单因素, 以感官评分和冲调性为评价指标, 确定最佳主料添加量范围。

(1)黑芝麻添加量对产品感官品质和冲调性的影响

固定产品体系总质量为 50.0 g, 添加 5.0 g 黑豆粉、3.0 g 胶原蛋白肽, 设定黑芝麻添加量分别为 2.5、5.0、7.5、10.0、12.5、15.0 g, 加入各种辅料和麦芽糊精补足至 50.0 g。经过粉碎后过 80 目筛, 产品用 60 ℃纯净水冲调后, 现场安排志愿者进行感官评分, 并测定水溶性和吸水性指数。

(2)黑豆粉添加量对产品感官品质和冲调性的影响

按照 1.3.2(1)中确定的条件, 添加 10.0 g 黑芝麻粉、3.0 g 胶原蛋白肽, 设定黑豆粉添加量分别为 2.5、5.0、7.5、10.0、12.5、15.0 g, 加入各种辅料和麦芽糊精补足至 50.0 g。产品评价方法同 1.3.2(1)。

(3)胶原蛋白肽添加比例对产品感官品质和冲调性的影响

按照 1.3.2(1)和 1.3.2(2)中确定的条件, 添加 10.0 g 黑芝麻粉、7.5 g 黑豆粉, 设定胶原蛋白肽添加量分别为 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 g, 加入各种辅料和麦芽糊精补足至 50.0 g。产品评价方法同 1.3.2(1)。

1.3.3　正交设计

在单因素试验的基础上, 以感官评价为指标, 进一步应用 $L_9(3^4)$正交实验对黑芝麻、黑豆粉、胶原蛋白肽添加量进行优化, 各因素水平表见表 1。

表 1　正交试验因素水平表

Table 1　Factor level table of orthogonal test

水平	因素		
	A: 黑芝麻添加量/g	*B*: 黑豆粉添加量/g	*C*: 胶原蛋白肽添加量/g
1	7.5	5.0	3
2	10.0	7.5	4
3	12.5	10.0	5

1.3.4　感官评价

参考 QB/T 4221—2011《谷物类饮料》制定感官评定标准见表 2, 结果由 15 名经过培训的志愿者进行打分。

表 2　感官评定标准

Table 2　Sensory evaluation standards

项目	特征	得分
色泽(20%)	深黑色	16~20
	浅黑色	10~15
	黄色或浅黄色	0~9
气味(30%)	谷物香味浓郁	26~30
	谷物香味较浓	20~25
	谷物香味一般	10~19
	谷物香味很淡或无香味	0~9
滋味(30%)	谷物风味浓郁	26~30
	谷物风味较浓	20~25
	谷物风味一般	10~19
	谷物风味淡, 有淡淡的腥味或很腥	0~9
口感(20%)	口感细腻, 无明显颗粒感	10~20
	口感粗糙, 有颗粒感或颗粒感较强	0~9

1.3.5　产品营养功能成分的测定

(1)基本成分

水分含量测定参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(直接干燥法, 105 ℃), 灰分含量测定参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰

分的测定》(灼烧法), 蛋白含量测定参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(凯氏定氮法), 脂肪含量测定参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》(索氏提取法)。

(2)总酚和花色苷含量

参考 Zhang 等[18]的方法略作修改。准确称取 2.0 g 粉体, 加入 20 mL 乙醇超声辅助提取 30 min, 离心取上清, 重复提取 2 次, 合并上清液, 减压浓缩至干, 再加入 10 mL 甲醇复溶。总酚含量采用福林酚法测定, 以没食子酸当量(gallic acid equivalents, GAE)表示, 即 mg GAE/g; 花色苷含量采用 pH 示差法测定, 以矢车菊素-3-葡萄糖苷当量(cyanidin-3-glucoside equivalents, CGE)表示, 即 mg CGE/g。

(3)黑色素含量

参考薛娇等[19]的方法略作修改。准确称取 2.0 g 粉体, 加入 100 mL 的 0.1mol/L NaOH, 65 ℃水浴提取 80 min, 冷却后, 离心除去沉淀, 收集上清液, 定容至 100 mL 为待测液; 取 0.3 mL 待测液, 加入 1.2 mL 30% H_2O_2, 50 ℃避光反应 2.5 h, 结束反应后涡旋振荡排除气泡, 在激发波长 350 nm 和发射波长 450 nm 下测定荧光值, 黑色素含量以鱿鱼墨黑色素当量(squid ink melanin equivalents, SME)表示, 即 mg SME/g。

1.3.6 粉体特性分析

(1)水溶性指数和吸水性指数

参考赵志浩等[20]的方法略作修改。准确称取 2.0 g 粉剂放入恒重离心管(m_1)中, 加入 30 mL 水, 振荡 30 min 后离心, 将上清倒入恒重铝盒(m_2)中, 离心管称重(m_3), 铝盒烘干至恒重(m_4)。水溶性指数(water solubility index, WSI)和吸水性指数(water absorption index, WAI)计算公式如(1)~(2)所示:

$$\mathrm{WSI}/\%=\frac{m_4-m_2}{2.0}\times 100\% \tag{1}$$

$$\mathrm{WAI}/(\mathrm{g/g})=\frac{m_3-m_1}{2.0} \tag{2}$$

(2)分散时间

参考赵志浩等[20]的方法略作修改。准确称取 2.0 g 样品, 加入 100 mL 预热至 70 ℃的水, 置于磁力搅拌器搅拌(30 r/min), 记录粉体完全分散所需的时间, 重复测定 5 次。

(3)休止角

参考 Huang 等[21]的方法略作修改。准确称取 3.0 g 样品, 经距离桌面 3 cm 的垂直漏斗匀速流入到桌面玻璃板上, 堆积成圆锥体, 测量圆锥体的底面直径(d)和高(h), 重复测定 5 次。休止角计算公式如(3)所示:

$$\text{休止角}/^\circ=\tan^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right) \tag{3}$$

(4)滑 角

参考 Huang 等[21]的方法略作修改。准确称取 3.0 g 样品, 均匀分布于玻璃板一端, 将另一端缓缓抬升至约 90% 粉体发生移动, 测定玻璃板长度(L)和玻璃板上端与水平面的垂直距离(h'), 重复测定 5 次。滑角计算公式(4)如下:

$$\text{滑角}/^\circ=\sin^{-1}\left(\frac{h'}{L}\right) \tag{4}$$

1.3.7 产品抗氧化活性测定

氧自由基吸收能力(oxygen radical absorbance capacity, ORAC)参照卢琦等[22]的方法测定, 结果以 Trolox 当量表示, 即 μmol TE/g; 铁还原抗氧化能力采用 FRAP 试剂盒测定, 结果以 Fe^{2+}当量表示, 即 μmol Fe^{2+}/g。

1.4 数据处理

实验结果以平均值±标准偏差表示, Microsoft Excel 2019 软件进行数据处理和分析, Origin 2026 软件作图。

2 结果与分析

2.1 黑芝麻添加量对产品感官品质和冲调性的影响结果分析

由图 2 可知, 随着黑芝麻添加量的增加, 产品感官评分逐渐升高, 当添加量为 10.0 g 时, 产品获得最高的感官评分, 具有最适的黑芝麻的特征香气与油脂醇厚感。随着黑芝麻添加量的增加, 体系水溶性指数和吸水性指数呈现先下降后上升的趋势, 这可能是当添加量较低时, 黑芝麻粉中不溶性蛋白和纤维稀释体系中可溶性物质, 同时疏水性油脂包裹部分可溶性颗粒, 导致整体水溶性指数出现下降; 当添加量较高时, 黑芝麻粉中亲水性的可溶性蛋白类增多, 导致体系水溶性的回升[23]。此外, 当添加量为 10.0 g 时, 吸水性指数最低, 可能与形成的内源性包裹结构减少了淀粉与水的接触有关, 有效延缓结块、促进均匀分散[24]。因此, 黑芝麻添加量为 10.0 g 时, 确保了产品最佳感官品质, 同时兼顾较好的溶解与分散平衡。

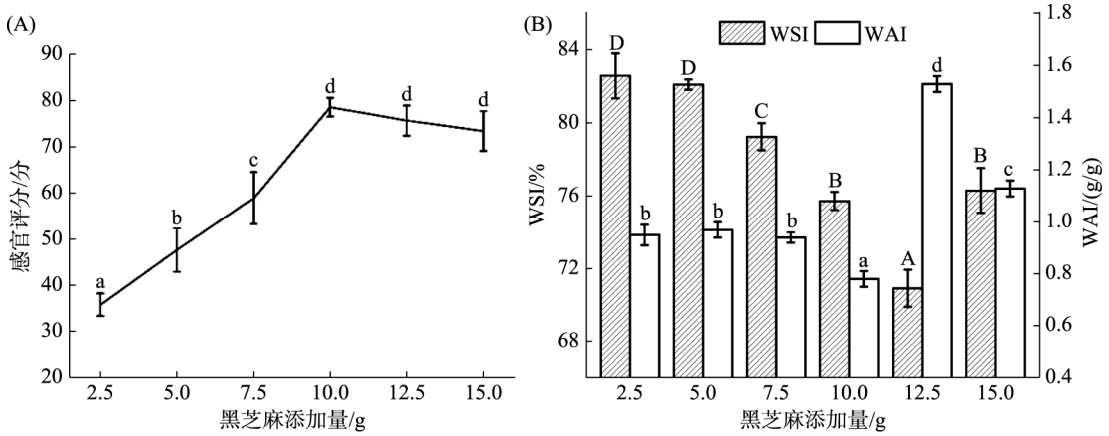
2.2 黑豆粉添加量对产品感官品质和冲调性的影响结果分析

由图 3 可知, 随着黑豆粉添加量的增加, 产品感官评分呈现先上升后下降的趋势, 当添加量为 7.5 g 时, 产品获得最高的感官评分, 具有最适的豆香味与黑色光泽。当黑豆粉添加量大于 7.5 g 时, 体系水溶性指数显著降低, 而吸水性指数显著升高, 主要是由于体系中淀粉和蛋白质显著增加, 表现出极强的瞬间吸水性, 冲调时粉体表面快速润湿, 形成大量致密的“外湿内干”溶胀颗粒, 极大地增加了体系黏度, 并空间阻碍了其他高水溶性成分的溶出[25–26]。因此, 黑豆粉添加量为 7.5 g 时, 确保了产品最佳的感官风味与冲调效果。

2.3 胶原蛋白肽添加量对产品感官品质和冲调性的影响结果分析

由图 4 可知, 当胶原蛋白肽添加量小于 3.0 g 时, 产品

感官风味不受影响; 但添加量大于 3.0 g 时, 产品感官评分逐渐下降。胶原蛋白肽添加量对产品体系的水溶性指数和吸水性指数无明显影响。这主要是鉴于胶原蛋白肽具有分子量小、亲水性、无显著持水/持油能力等分子特性, 决定了其几乎不改变粉体的宏观物理结构[27], 而特征腥味主要影响产品的滋味和风味[28]。当添加量低于 3.0 g 时, 带来的腥味可能被黑芝麻黑豆的香气掩盖而不被察觉。因此, 3.0 g 胶原蛋白肽添加量是产品体系风味掩蔽阈值。



注: 不同小写字母表示不同添加量组别之间感官评分或吸水性指数具有显著差异, $P<0.05$; 不同大写字母表示不同添加量组别之间水溶性指数具有显著差异, $P<0.05$, 下同。

图 2　黑芝麻添加量对产品感官品质(A)和冲调性(B)的影响

Fig.2　Effects of *Sesamum indicum* L. dosage on sensory quality (A) and reconstitution properties (B) of products

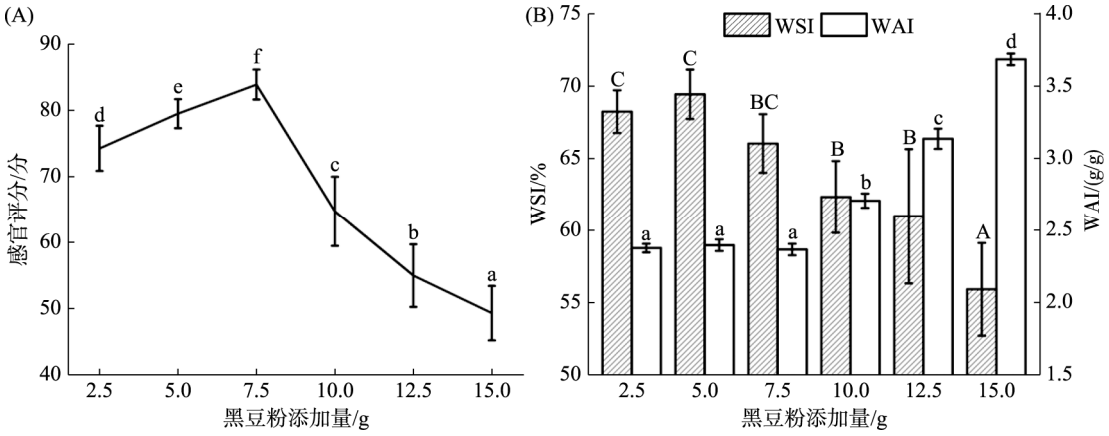


图 3　黑豆粉添加量对产品感官品质(A)和冲调性(B)的影响

Fig.3　Effects of *Glycine max* (L.) Merr. dosage on sensory quality (A) and reconstitution properties (B) of products

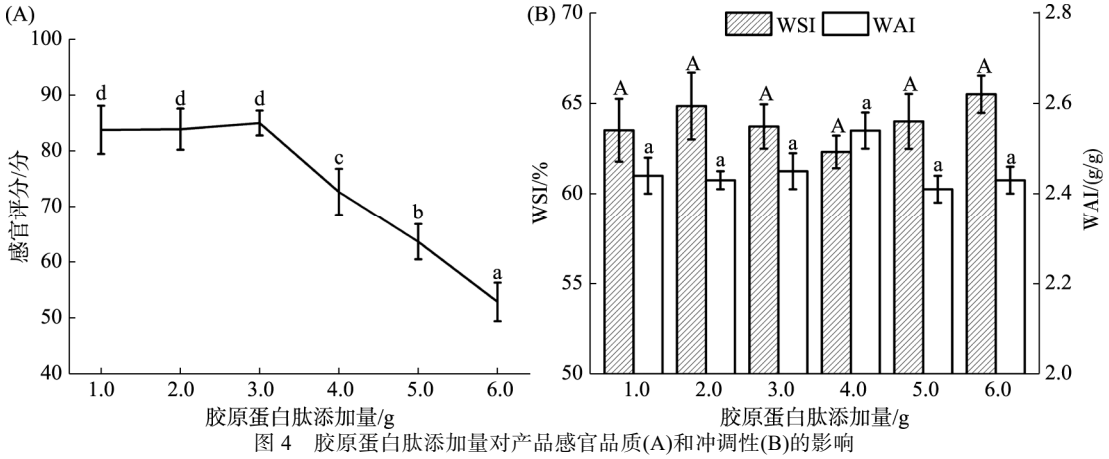


图 4　胶原蛋白肽添加量对产品感官品质(A)和冲调性(B)的影响

Fig.4　Effects of collagen peptide dosage on sensory quality (A) and reconstitution properties (B) of products

2.4 正交试验结果分析

如表 3 所示, 以感官评分为试验指标, 通过极差分析发现, 影响产品感官品质的因素主次顺序为黑芝麻>黑豆粉>胶原蛋白肽, 即黑芝麻添加量对产品感官品质影响最大, 胶原蛋白肽添加量对产品感官品质影响较小。因此黑芝麻黑豆胶原蛋白肽复合固体饮料的最佳配方组合为: $A_3B_2C_1$, 即黑芝麻添加量 25%, 黑豆添加量 15%, 胶原蛋白肽添加量为 6%。试验号 8 中水平与最佳配方组合中水平一致, 且感官评分最高, 无需进行验证实验。该产品粉体均匀细腻, 整体呈灰褐色, 带有柔和的光泽, 具有特有的黑芝麻油润醇厚感和黑豆豆香味。

表 3 正交试验结果
Table 3 Results of orthogonal test

实验号	*A*: 黑芝麻添加量/g	*B*: 黑豆粉添加量/g	*C*: 胶原蛋白肽添加量/g	感官评分
1	1	1	1	58.86
2	1	2	2	65.29
3	1	3	3	60.36
4	2	1	2	74.53
5	2	2	3	82.13
6	2	3	1	79.24
7	3	1	3	80.14
8	3	2	1	84.67
9	3	3	2	76.38
K_1	184.51	213.53	222.77	
K_2	235.90	232.09	216.20	
K_3	241.19	215.98	222.63	
R	56.68	18.56	6.57	

2.5 产品的营养功能成分及抗氧化活性

产品水分含量 5.83%±0.04%, 远低于 GB/T 29602—2013《固体饮料》中水分含量限值(≤7.0%), 低水分活度有利于抑制微生物增殖、防止结块及维持成分稳定性。灰分含量高达 7.70%±0.08%, 表明产品富含矿物质, 与黑芝麻、黑豆富含钙、铁、镁、锌等矿物元素密切相关[29]。蛋白含量 17.7%±0.08%, 远高于 GB/T 29602—2013 中复合蛋白固体饮料的蛋白质含量限值(≥0.7%), 符合高蛋白食品声称的标准, 同时动植物双蛋白的互补有助于改善整体氨基酸模式, 提升蛋白质的营养价值[30]。脂肪含量 17.1%±0.16%, 主要来源于黑芝麻, 高脂肪含量保证了产品特有的浓郁芝麻风味和醇厚顺滑口感, 但也带来易氧化酸败的风险。值得注意的是, 产品中富含的黑芝麻黑色素、芝麻素与黑豆花色苷等多酚类活性物质, 共同构建了一个天然抗氧化体系[31]。粉体中含有总酚(13.10±3.50) mg GAE/g, 黑色素(10.02±3.50) mg SME/g, 花色苷(0.15±0.01) mg CGE/g, 具有一定的 FRAP 和 ORAC 抗氧化活性[分别为(3.70±0.21) μmol Fe^{2+}/g 和(4.14±0.01) μmol TE/g], 有利于抑制脂肪氧化酸败, 提高贮藏稳定性。目前, 谷物豆类饮料中鲜少关注多酚、黑色素等活性成分含量及其抗氧化活性, 本研究结果为消费者选择高品质黑色固体饮料提供参考依据。

综上所述, 该产品具有高蛋白、高矿物质、强抗氧化活性的特征, 适合追求内在滋养与外在修复功效的人群食用, 具有广阔的市场前景。

2.6 产品的冲调性和流动性

产品水溶性指数为 63.73%±1.25%, 吸水性指数为(2.45±0.04) g/g, 分散时间为 7.69 s±0.42 s, 休止角为 30.30°±1.12°, 滑角为 41.80°±1.79°。水溶性指数、吸水性指数和分散时间是衡量产品冲调性的关键指标。水溶性指数越高, 吸水性指数越低, 产品越容易分散, 分散时间越短, 消费者冲调体验越好[32]。通常认为分散时间小于 10 s 是速溶或快速分散的体现。休止角和滑角是评价粉体流动性的重要指标[33]。休止角越小, 滑角也越小, 则粉体的流动性越好。这主要与粉体粒径减小有关, 在重力作用下更容易成团滑落, 增加产品流动性[34]。众所周知, 特殊医学用途配方食品对冲调性和流动性具有较高的要求。赵文铎等[35]研究以麦芽糊精和复合脂肪粉为主要原料的全营养特医食品在不同加工条件下水溶性指数为 84.80%~97.6%, 休止角为 28.40°~39.32°; 而以谷物豆类等农产品基质为原料的粉状食品通常会表现出较低的冲调性和流动性, 孙军涛等[36]以黑米、黑小麦、黑豆和黑芝麻为主要原料开发的速溶杂粮固体饮料, 其溶解性仅为 28.9%, 休止角 42°。由此可知, 本产品具有良好的冲调分散性和流动性。

3 结 论

本研究以黑芝麻、黑豆、胶原蛋白肽、麦芽糊精、菊粉、蔗糖和海藻酸钠为原料, 开发出一款具有抗氧化功效且感官品质良好的复合固体饮料。通过单因素试验探究黑芝麻、黑豆和胶原蛋白肽 3 种主料的添加量对产品感官品质和冲调性的影响, 并通过正交优化试验确定了黑芝麻黑豆胶原蛋白肽固体饮料的最佳配比为: 黑芝麻 25%、黑豆 15%、胶原蛋白 6%、麦芽糊精 42.7%、菊粉 10%, 蔗糖 1.0%、海藻酸钠 0.3%。该配方产品富含蛋白质、矿物质、脂肪等营养成分和多酚、黑色素、花色苷等活性成分, 并显示出一定的体外抗氧化活性, 适合追求内在滋养与外在修复功效的人群食用; 产品粉体均匀细腻, 口感醇厚顺滑, 具有良好的冲调分散性和粉体流动性, 解决了高脂、高蛋白复合固体饮料常见的流动性差、易结块、冲调慢的技术瓶颈。本研究为黑芝麻黑豆深加工产品的开发提供了理论依据与

实践参考, 具有良好的推广应用潜力。

参考文献

[1] 费永涛, 郑文雄, 陈燕清, 等. 代餐粉特性及加工生产的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(9): 3557–3564.
Fei Yongtao, Zheng Wenxiong, Chen Yanqing, et al. Research progress on characteristics and processing of meal replacement powder [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(9): 3557–3564.

[2] Liu Hao, Gao Shuguang, Sun Mingzhe, et al. Effect of roasting on the chemical profiles of white and black sesame seeds during accelerated storage [J]. Food Chemistry, 2026, 505: 147881.

[3] Zhou Rongrong, Cai Weixi, Xu Baojun. Phytochemical profiles of black and yellow soybeans as affected by roasting [J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(12): 3179–3190.

[4] 赖来展, 赖敬君, 李小蓉, 等. 食以色为首 开创生物色素新时代[J]. 中国农村科技, 2013(1): 74–75.
Lai Laizhan, Lai Jingjun, Li Xiaorong, et al. Starting a new era of biological pigments with color as the leading factor [J]. China Rural Science & Technology, 2013(1): 74–75.

[5] Gonçalves A C, Nunes A R, Falcão A, et al. Dietary effects of anthocyanins in human health: a comprehensive review [J]. Pharmaceuticals, 2021, 14(7): 690.

[6] Yang Xinting, Tang Chaohua, Zhao Qingyu, et al. Melanin: a promising source of functional food ingredient [J]. Journal of Functional Foods, 2023, 105: 105574.

[7] Huang Qian, Liang Zhuowen, Li Qingpeng, et al. Black sesame pigment ameliorates non-alcoholic fatty liver disease *via* modulation of the gut-liver axis and HIF-1 signaling pathway [J]. Antioxidants, 2026, 15(2): 177.

[8] Sun Mubai, Li Da, Hua Mei, et al. Black bean husk and black rice anthocyanin extracts modulated gut microbiota and serum metabolites for improvement in type 2 diabetic rats [J]. Food & Function, 2022, 13(13): 7377–7391.

[9] Xu Zhenxia, Li Min, Jiang Nanjie, et al. Black sesame seeds: nutritional value, health benefits, and food industrial applications [J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 153: 104740.

[10] Khosravi A, Razavi S H. Therapeutic effects of polyphenols in fermented soybean and black soybean products [J]. Journal of Functional Foods, 2021, 81: 104467.

[11] Zhao Xiaocao, Zhang Xuejiao, Liu Dengyong. Collagen peptides and the related synthetic peptides: a review on improving skin health [J]. Journal of Functional Foods, 2021, 86: 104680.

[12] Kviatkovsky S A, Hickner R C, Ormsbee M J. Collagen peptide supplementation for pain and function: is it effective [J]. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care, 2022, 25(6): 401–406.

[13] 金日生, 单琴, 蒋义, 等. 一种黑芝麻复合固体饮料的工艺研究[J]. 农产品加工, 2020(13): 23–28.
Jin Risheng, Shan Qin, Jiang Yi, et al. Study on a process of black sesame composite solid beverage [J]. Farm Products Processing, 2020(13): 23–28.

[14] 朱莹莹, 张丽, 李欹楠. 黑豆复合代餐粉配方研制[J]. 食品工业, 2021, 42(11): 343–346.
Zhu Yingying, Zhang Li, Li Yinan. Optimization of the formula of black bean composite meal powder [J]. The Food Industry, 2021, 42(11): 343–346.

[15] Li Yongxing, Hu Zhihui, Ji Haiyu, et al. Enzymolysis-driven development of a gut-targeted *Aronia melanocarpa* meal replacement powder with glycemic control and microbial homeostasis benefits [J]. Foods, 2025, 14(14): 2456.

[16] 黄雨濛, 王丹, 鲁明. 黑色谷物代餐粉加工生产的研究进展[J]. 农业科技与装备, 2024(5): 75–77.
Huang Yumeng, Wang Dan, Lu Ming. Research progress on the processing and production of black grain meal replacement powder [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2024(5): 75–77.

[17] 杨海燕. 功能性固体饮料的无限可能[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16): 48.
Yang Haiyan. Unlimited possibilities of functional solid drinks [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(16): 48.

[18] Zhang Shuai, Ma Qin, Dong Lihong, et al. Phenolic profiles and bioactivities of different milling fractions of rice bran from black rice [J]. Food Chemistry, 2022, 378: 132035.

[19] 薛娇, 张彦龙, 雷虹, 等. H_2O_2 氧化-荧光法定量检测黑木耳黑色素[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2024, 41(3): 302–309.
Xue Jiao, Zhang Yanlong, Lei Hong, et al. Quantitative determination of melanin in *Auricularia auricula* by H_2O_2 oxidation-fluorescence [J]. Journal of Natural Science of Heilongjiang University, 2024, 41(3): 302–309.

[20] 赵志浩, 刘磊, 张名位, 等. 预酶解-挤压膨化对全谷物糙米粉品质特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 108–116.
Zhao Zhihao, Liu Lei, Zhang Mingwei, et al. Combined effect of enzymatic pretreatment and extrusion on quality properties of brown rice flour [J]. Food Science, 2019, 40(1): 108–116.

[21] Huang Xin, Liang Kehong, Liu Qi, et al. Superfine grinding affects physicochemical, thermal and structural properties of *Moringa oleifera* leaf powders [J]. Industrial Crops and Products, 2020, 151: 112472.

[22] 卢琦, 贾栩超, 邓梅, 等. 不同干制方式对沙田柚果渣粉活性物质的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(14): 2825–2836.
Lu Qi, Jia Xuchao, Deng Mei, et al. Effects of different drying methods on bioactive components of shatianyou (*Citrus grandis* L. osbeck) pomace powder [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(14): 2825–2836.

[23] Ding Yangyue, Cheng Jianjun, Lin Qianyu, et al. Effects of endogenous proteins and lipids on structural, thermal, rheological, and pasting properties and digestibility of adlay seed (*Coix lacryma*-jobi L.) starch [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 111: 106254.

[24] Ye Pengfei, Mao Chao, Song Mingxia, et al. Effect of endogenous proteins and lipids on yam flour during radio frequency explosion puffing: characterization, microstructure, function, and *in vitro* digestibility [J]. Food Chemistry, 2025, 464: 141710.

[25] Yang Liping, Wang Sunyan, Zhang Houfang, et al. Effects of black soybean powder particle size on the characteristics of mixed powder and wheat flour dough [J]. LWT, 2022, 167: 113834.

[26] Hong Tingting, Ma Yongshuai, Wu Fengfeng, et al. Understanding the effects of dry heat treatment on wheat flour pasting: insights from protein and starch structural changes [J]. Journal of Cereal Science, 2023, 113: 103740.

[27] Shi Jing, Lu Zhe, Feng Mengmeng, et al. Storage stability of collagen

peptide beverages: physicochemical, nutritional, sensory, and antioxidant properties [J]. LWT, 2025, 231: 118366.

[28] Wu Wei, Wang Xilong, Chen Jiayuan, et al. Physicochemical and flavor characteristics of Maillard reaction products from Nile tilapia fish skin collagen peptides induced by four reducing sugars [J]. Foods, 2025, 14(19): 3453.

[29] 曹蕾, 耿薇, 魏永生. 微波消解-ICP-OES 法测定黑芝麻中的 18 种矿质元素[J]. 应用化工, 2012, 41(5): 910–913.
Cao Lei, Geng Wei, Wei Yongsheng. Determination of 18 mineral elements of *Sesamum indicum* L. by microwave digestion-ICP-OES [J]. Applied Chemical Industry, 2012, 41(5): 910–913.

[30] Duan Hao, Liu Gaigai, Feng Duo, et al. Research progress on new functions of animal and plant proteins [J]. Foods, 2024, 13(8): 1223.

[31] 王慕文, 姚黄兵, 张振, 等. 一种富含花青素的固体饮料的工艺研究[J]. 农产品加工, 2022(1): 30–36, 43.
Wang Muwen, Yao Huangbing, Zhang Zhen, et al. Study on the technology of a solid beverage rich in anthocyanins [J]. Agricultural Products Processing, 2022(1): 30–36, 43.

[32] Yang Feiyu, He Haiyan, Wang Zhigao, et al. Formula optimization and *in vitro* lipid reducing activity evaluation of nutritious rice bran meal replacement powder [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2024, 18(2): 1075–1089.

[33] 马永轩, 魏振承, 张名位, 等. 改善营养糊冲调性和流动性的配方优化和工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(7): 81–87.
Ma Yongxuan, Wei Zhencheng, Zhang Mingwei, et al. Formula optimization and technology research for the improvement of dispersibility and flowability of nutritious cereal paste [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(7): 81–87.

[34] 王珏莹, 单维婷, 李潇, 等. 炒制-超微粉碎联合处理对山楂核品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(4): 104–112.
Wang Jueying, Shan Weiting, Li Xiao, et al. Effects of combined treatment of stir-frying and ultramicro grinding on quality of *Crataegus pinnatifida* kernel [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(4): 104–112.

[35] 赵文铎, 张昊. 不同加工条件对特殊医学用途配方食品粉体特性的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(15): 142–149.
Zhao Wenduo, Zhang Hao. Effects of different processing conditions on powdered properties of foods for special medical purposes [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(15): 142–149.

[36] 孙军涛, 张智超, 秦元芳, 等. 速溶杂粮固体饮料研制[J]. 食品工业, 2021, 42(2): 158–161.
Sun Juntao, Zhang Zhichao, Qin Yuanfang, et al. Development of instant solid beverage of coarse cereals [J]. The Food Industry, 2021, 42(2): 158–161.

(责任编辑: 韩晓红 曹岱琳)