

竹荪营养代餐粉的研制及品质特性研究

刘嘉璇¹, 陈月星^{1,2*}, 崔雅轩¹, 孙净愉¹

¹商洛学院生物医药与食品工程学院, 陕西 商洛

²陕西省秦岭特色生物资源产业技术研究院, 陕西 商洛

收稿日期: 2025年10月16日; 录用日期: 2025年11月12日; 发布日期: 2025年11月21日

摘要

本文以竹荪粉、高纤膳食组合、麦芽糊精及赤藓糖醇为主要原料研制一款竹荪营养代餐粉。采用单因素实验及正交试验对竹荪营养代餐粉的配方进行优化, 并对代餐粉营养成分、速溶特性等进行测定。研究表明, 竹荪营养代餐粉的最佳配方为(以30 g/份为基准): 竹荪粉添加比例10%、高纤膳食组合添加比例45%、麦芽糊精添加比例20%、赤藓糖醇添加比例7%和果粉添加比例18%。在此配方下, 代餐粉总糖含量为36.75 g/100 g, 脂肪含量为11.36 g/100 g, 蛋白质含量为18.20 g/100 g, 分散性189 s, 润湿性233 s, 制得的竹荪营养代餐粉, 口感清甜丝滑, 风味协调, 溶解性佳。

关键词

竹荪, 正交试验, 代餐粉, 品质特性

Development and Quality Characteristics of *Dictyophora indusiata* Nutritional Meal Replacement Powder

Jiaxuan Liu¹, Yuexing Chen^{1,2*}, Yaxuan Cui¹, Jingyu Sun¹

¹College of Biology Pharmacy and Food Engineering, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

²Shaanxi Qinling Industrial Technology Research Institute of Special Biology Resources, Shangluo Shaanxi

Received: October 16, 2025; accepted: November 12, 2025; published: November 21, 2025

Abstract

This study was designed to develop a nutritional *Dictyophora indusiata* meal replacement powder

*通讯作者。

文章引用: 刘嘉璇, 陈月星, 崔雅轩, 孙净愉. 竹荪营养代餐粉的研制及品质特性研究[J]. 食品与营养科学, 2025, 14(6): 854-862. DOI: 10.12677/hjfn.2025.146094

taking *Dictyophora indusiata* powder, high-fiber dietary blend, maltodextrin, and erythritol as the primary raw materials. The formulation of the nutritional *Dictyophora indusiata* meal replacement powder was optimized through single-factor experiments and orthogonal tests, and its nutritional composition, antioxidant activity, and instant properties were determined. The research demonstrated that the optimal formulation of the nutritional *Dictyophora indusiata* meal replacement powder was as follows (based on a 30 g/serving benchmark): *Dictyophora indusiata* powder 10%, high-fiber dietary blend 45%, maltodextrin 20%, erythritol 7%, and fruit powder 18%. Under this formulation, the total sugar content of the meal replacement powder was 66.75 g/100 g, fat content 15.36 g/100 g, protein content 18.10 g/100 g, vitamin C content 1.82 mg/100 g, and moisture content 4.85 g/100 g. The DPPH free radical scavenging rate reached 83%. The prepared nutritional *Dictyophora indusiata* meal replacement powder was characterized by a mildly sweet and silky taste, well-balanced flavor, and excellent solubility.

Keywords

Dictyophora indusiata, Orthogonal Tests, Nutritional Meal Replacement Powder, Quality Characteristic

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

竹荪(*Dictyophora indusiata*)是腐生真菌中的一种, 又名网纱菌、竹姑娘等, 被誉为“菌中皇后”“真菌之花”等[1][2], 按照不同的适宜生长温度, 把竹荪分为中高温、中温两类[3]。竹荪菌体是良好的植物蛋白来源, 竹荪内含有 21 种氨基酸, 其中质量分数较高的是谷氨酸, 其中所含的氨基酸存在方式大多是难以流失的菌体蛋白[4][5]。此外, 竹荪中还含有较高的维生素 E、 β -胡萝卜素等, 具有宁神健体、润肺止咳等功效, 还可以减少腹部的脂肪堆积和保护肝脏[6][7]。然而目前市场上竹荪主要以鲜品或干品等初加工产品销售, 深加工产品较少, 亟需进行新型产品的研发。

基于此, 本文拟通过碱性蛋白酶辅助醇沉法提取竹荪中的多肽, 通过单因素试验和响应面法优化试验确定竹荪多肽的最佳提取工艺。进一步以竹荪粉、高纤膳食组合、麦芽糊精及赤藓糖醇为主要原料研制一款竹荪营养代餐粉, 采用单因素试验和正交试验优化确定最佳配方。

2. 材料与方法

2.1. 实验设备与材料

2.1.1. 实验设备

实验所需设备信息见表 1。

Table 1. Equipment list

表 1. 设备一览表

名称	生产厂家
高速粉碎机 2500A	永康市展帆工贸有限公司
电子分析天平 HC3204	上海花潮电器有限公司

续表

紫外可见分光光度计 UV1800	上海精科实业有限公司
控温水浴锅 HH-4	上海胜卫电子科技有限公司
离心机 LC-LX-H165A	上海舜制仪器制造有限公司
真空干燥箱 DZF-62100	上海电子科技有限公司

2.1.2. 实验材料

竹荪、菊粉(市购); 山药粉(安徽健康产业发展有限公司); 燕麦(山东哟嗨呆食品有限公司); 麦芽糊精(河南祥意商贸有限公司); 果粉(驻马店市清冰食品有限公司); 赤藓糖醇(江苏锐康莱科技有限公司); 奇亚籽(亳州市鸿仁堂生物科技有限公司); 牛血清蛋白标准品(合肥千盛生物科技有限公司); 无水乙醇(天津市鼎盛鑫化工有限公司); 考马斯亮蓝 G-250 (上海源叶生物科技有限公司); 85%磷酸(济南润辉化工有限公司); 食品级碱性蛋白酶 20 万活性(北京生物科技开发有限公司)。

2.2. 竹荪营养代餐粉的研制

竹荪营养代餐粉制作流程如图 1 所示[8] [9]:

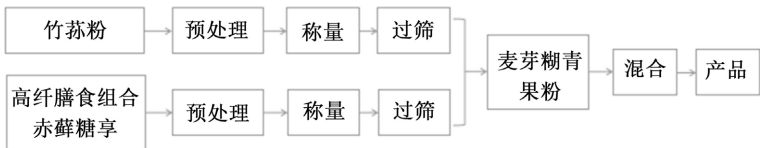


Figure 1. Meal replacement powder process flowchart
图 1. 代餐粉制作流程图

2.2.1. 原料预处理

将所有原材料于真空干燥箱中 60℃干燥至恒重, 过 80 目筛, 密封保存备用。

2.2.2. 单因素试验

竹荪营养代餐粉基础配方(30 g/份): 竹荪粉 10%, 高纤膳食 45% (燕麦:山药粉:奇亚籽:菊粉 = 1:1:1:1), 麦芽糊精 18%, 赤藓糖醇 7%, 果粉 20%。控制其他因素不变, 依次考察竹荪粉、高纤膳食组合、麦芽糊精以及赤藓糖醇的添加比例对竹荪营养代餐粉感官评价的影响。将混合后的竹荪粉、高纤膳食组合、麦芽糊精、赤藓糖醇以及果粉取 30 g 加入 70℃、150 mL 的水, 溶解充分后进行感官评价[10]-[12]。各因素水平见表 2。

Table 2. Factors and levels of the formula optimization experiments
表 2. 配方优化试验因素水平表

水平\因素	竹荪粉/%	高纤膳食组合/%	麦芽糊精/%	赤藓糖醇/%
1	8	35	14	5
2	9	40	16	6
3	10	45	18	7
4	11	50	20	8
5	12	55	22	9

2.2.3. 正交试验

在单因素试验结果的基础上，选择对代餐粉感官品质影响显著的因素进行正交试验，确定竹荪营养代餐粉的最佳配方。

2.2.4. 代餐粉的感官评价

从溶解性、色泽、风味、口感 4 个方面对竹荪营养代餐粉进行感官评价，每项权重占 25%，具体评分细则内容如表 3 所示[13] [14]。

Table 3. Sensory scoring rules
表 3. 感官评分细则

项目	评价细则	感官评分
溶解性(满分 25)	分散溶解快速，无沉淀，无结块	16~25
	分散溶解略快，少许沉淀，结块较少	8~15
	分散溶解慢，沉淀多，结块较多	0~7
色泽(满分 25)	颜色均匀，光泽好	16~25
	颜色略不均匀，光泽差	8~15
	颜色均匀，光泽差	0~7
风味(满分 25)	香气浓郁，无特别异味	16~25
	有复合滋味，无其他异味	8~15
	其他味道突出，有异味	0~7
口感(满分 25)	入口丝滑，细腻，稠度较好	16~25
	入口丝滑，溶液浓，稠度适中	8~15
	入口粗糙，颗粒感重，稠度差	0~7

2.3. 代餐粉营养指标测定

参照文献[15]的方法测定碳水化合物含量。根据 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》[16]中的凯氏定氮法测定蛋白质含量。根据 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》[17]中的酸水解法测定脂肪含量。

分散性：在烧杯中加入 50 mL 去离子水(25℃)，置于磁力搅拌器上(800 r/min)，准确称量 1 g 香芋代餐粉均匀散布在水面上，观察并记录粉末从开始搅拌到完全分散所需的时间，重复测定三次。

湿润性：量取 200 mL 去离子水(25℃)加入 250 mL 烧杯中，准确称取 1 g 香芋代餐粉均匀散布在水面上，准确记录粉末从加入至全部润湿所需的时间，重复测定三次。

2.4. 数据分析

应用 Excel 对实验数据进行整理，应用 SPSS 16.0 进行单因素方差分析，多重比较采用 DUCAN 法。

3. 结果与分析

3.1. 单因素试验结果分析

3.1.1. 竹荪粉添加比例对代餐粉感官评价的影响

竹荪因为其膳食纤维、蛋白质和碳水化合物含量高而被用作中国很多传统食品的原材料[1]。从图 2

中可以看出,竹荪营养代餐粉的感官评分随着竹荪粉的增加呈现先上升后下降的趋势。当竹荪粉添加比例为9%时,代餐粉的感官评分最高。当竹荪粉添加比例低于9%时,感官评价降低。这是由于添加比例过高则使代餐粉竹荪风味过重会影响口感,添加比例过低使代餐粉竹荪风味不足。因此竹荪粉的适宜添加比例为8%~10%。

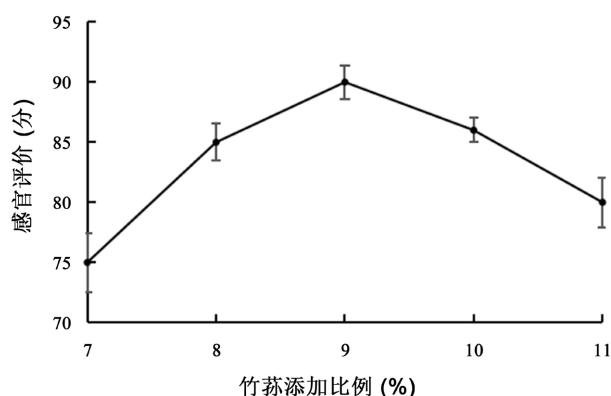


Figure 2. Effects of adding proportion of *Dictyophora indusiata* nutritional meal replacement powder on sensory evaluation

图 2. 竹荪营养代餐粉中竹荪粉添加比例对感官评价的影响

3.1.2. 高纤膳食组合添加比例对代餐粉感官评价的影响

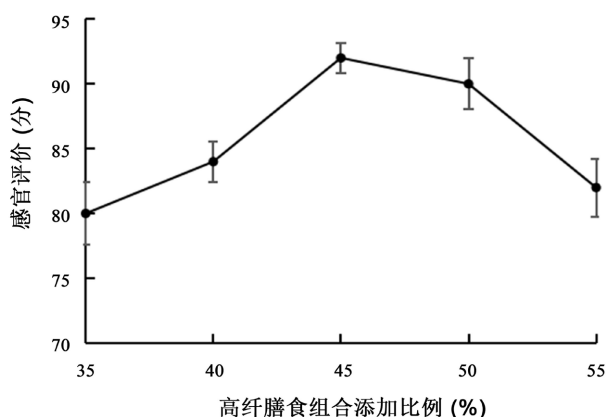


Figure 3. Effects of adding proportion of high fiber dietary combination of *Dictyophora indusiata* nutritional meal replacement powder on sensory evaluation

图 3. 竹荪营养代餐粉中高纤膳食组合添加比例对感官评价的影响

高纤膳食组合中含有丰富的水溶性膳食纤维,会吸水膨胀形成胶状物质,有增稠的作用[18]-[20],更添饱腹感。从图3可以看出,代餐粉的感官评价随着高纤膳食组合添加比例的增加呈现先上升后下降的趋势,当高纤膳食组合添加比例为45%时,代餐粉的感官评分最高。当高纤膳食组合添加量低于45%时,感官评分降低。添加比例过高则使代餐粉过于浓稠,不利于冲调食用而使代餐粉结块破坏口感,添加比例过低使代餐粉的粘度较差。因此高纤膳食组合的适宜添加比例为40%~50%。

3.1.3. 麦芽糊精添加比例对感官评价的影响

麦芽糊精具有良好的溶解性及流动性,利于代餐粉的乳化和增稠。从图4中可以看出,竹荪营养代

餐粉感官评分随着麦芽糊精添加比例呈现先上升后下降的趋势。当麦芽糊精添加比例为 20% 时, 代餐粉感官评分最高, 当麦芽糊精添加比例为 14% 时, 感官评分最低。麦芽糊精添加比例过高使代餐粉过于浓稠入口困难, 麦芽糊精添加比例过低使代餐粉稠度不足影响口感。因此, 竹荪营养代餐粉中麦芽糊精适宜添加比例为 18%~22%。

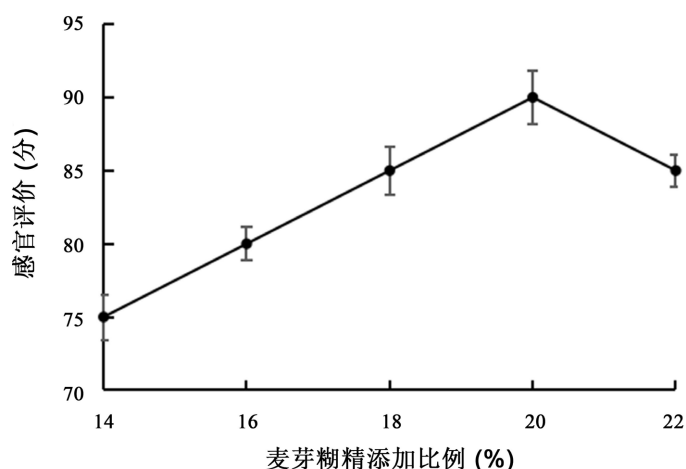


Figure 4. Effects of adding proportion of maltodextrin of *Dictyophora indusiata* nutritional meal replacement powder on sensory evaluation

图 4. 竹荪营养代餐粉中麦芽糊精添加比例对感官评价的影响

3.1.4. 赤藓糖醇添加比例对感官评价的影响

赤藓糖醇的甜度与蔗糖相似, 但不参与人体糖代谢, 现常用来作为高强度甜味剂代替食品中的蔗糖 [21]。从图 5 中可以看出, 竹荪营养代餐粉的感官评分随着赤藓糖醇添加比例的增加呈现先上升后下降的趋势。当赤藓糖醇添加比例为 7% 时, 代餐粉的感官评分最高; 当赤藓糖醇添加比例为 5% 时, 代餐粉的感官评分最低。赤藓糖醇添加比例过高会导致代餐粉竹荪风味降低, 甜度过高, 口感下降。因此, 竹荪营养代餐粉中赤藓糖醇适宜添加比例为 6%~8%。

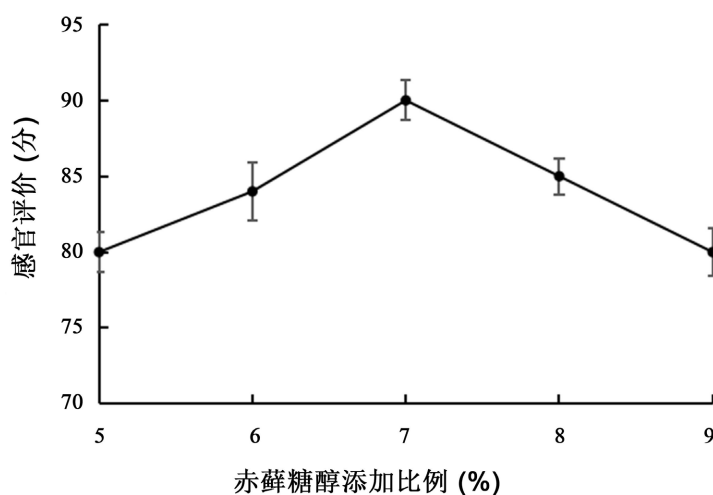


Figure 5. Effects of adding proportion of erythritol of *Dictyophora indusiata* nutritional meal replacement powder on sensory evaluation

图 5. 竹荪营养代餐粉中赤藓糖醇添加比例对感官评价的影响

3.2. 正交试验结果分析

基于单因素实验结果，将竹荪粉、高纤膳食组合、麦芽糊精和赤藓糖醇 4 个因素纳入响应面试验进一步优化，因素水平信息见表 4。竹荪营养代餐粉研制的正交试验结果见表 5，由表 5 可知，各试验因素对竹荪代餐粉感官评价的影响主次顺序为：A > D > B > C，可知竹荪粉添加比例影响最大，其次是赤藓糖醇的添加比例和高纤膳食组合的添加比例，麦芽糊精添加比例对竹荪营养代餐粉研制的感官评价影响最小。极差分析确定竹荪营养代餐粉最优组合条件为 A₃B₁C₂D₂。

Table 4. L₉(3⁴) orthogonal experimental factors and levels

表 4. L₉(3⁴)正交试验因素水平

水平	因素			
	竹荪粉/%	高纤膳食组合/%	麦芽糊精/%	赤藓糖醇/%
1	8	45	22	6
2	9	40	20	7
3	10	50	18	8

Table 5. Results and analysis of the orthogonal tests

表 5. 正交试验结果与分析

序号	A 竹荪粉/%	B 高纤膳食组合/%	C 麦芽糊精/%	D 赤藓糖醇/%	感官评价/分
1	1	1	1	1	80
2	1	2	2	2	78
3	1	3	3	3	70
4	2	1	2	3	85
5	2	2	3	1	80
6	2	3	1	2	85
7	3	1	3	2	91
8	3	2	1	3	84
9	3	3	2	1	90
K ₁	76.00	85.67	83.000	83.33	
K ₂	83.33	80.67	84.33	85.00	
K ₃	88.67	81.67	80.67	79.67	
R	12.670	5.000	3.660	5.330	
因素主次	A > D > B > C				
最优水平	A ₃ B ₁ C ₂ D ₂				

经过正交试验极差分析所得最优组合为 A₃B₁C₂D₂，其未在正交试验组合中，因此 A₃B₁C₂D₂ 和正交试验得分最高组合 A₃B₁C₃D₂ 进行验证试验，结果显示，A₃B₁C₂D₂ 最终平均感官得分为 91.67 分，略高于 A₃B₁C₃D₂ (90.33 分)，因此确定 A₃B₁C₂D₂ 为竹荪营养代餐粉最优组合，即(30 g/份为基准)：竹荪粉 10%，

高纤膳食组合 45%，麦芽糊精 20%，赤藓糖醇 7%、果粉 18%，此组合条件下制作的竹荪营养代餐粉，外观色泽均匀，呈浅黄色，粉质细腻，冲泡时的溶解度良好，冲泡后稠度适中，风味清甜适口。

3.3. 竹荪营养代餐粉品质特性分析

以最优配方制得的代餐粉总糖含量为 36.75 g/100 g，脂肪含量为 11.36 g/100 g，蛋白质含量为 18.20 g/100 g，代餐粉的分散性(189 s)和润湿性(233 s)。

4. 结论

本文利用竹荪粉、高纤膳食组合、麦芽糊精、赤藓糖醇及果粉以一定比例复合成一款竹荪营养代餐粉。在本研究中，通过单因素试验确定了竹荪营养代餐粉原料及辅料的最佳制备工艺，并结合正交试验确定了代餐粉的最佳配方：竹荪粉 10%、高纤膳食组合 45%、麦芽糊精 20%、赤藓糖醇 7%和果粉 18%。代餐粉总糖含量为 36.75 g/100 g，脂肪含量为 11.36 g/100 g，蛋白质含量为 18.20 g/100 g，代餐粉的分散性和润湿性较好。代餐粉溶解速度适中，色泽均匀，口感清甜丝滑，风味良好。都阳等[14]的双蛋白营养代餐粉，结果表明其营养丰富，流动性好，无强烈飞溅性倾向，符合国际和国内相关标准，本文选择竹荪粉来配制代餐粉，营养价值更丰富，所研制的竹荪营养代餐粉流动性较好，高膳食纤维、低热量、更具饱腹感，具有较好的营养价值和应用价值。

基金项目

国家级大学生创新创业训练计划项目(202311396017)；校企合作科研项目(23HKY265)。

参考文献

- [1] 周娟娟. 红托竹荪有效成分的提取及抗氧化性研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽建筑大学, 2023.
- [2] 段小明, 刘升, 贾丽娥, 等. 竹荪属食用菌国内研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4433-4440.
- [3] 查兴雪, 徐彦军, 赵霞, 等. 基于氨基酸种类对不同竹荪品种的营养比较分析[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(8): 131-135.
- [4] Wu, Q.M., Ma, Y.C., Zhang, L.X., et al. (2023) Extraction, Functionality, and Applications of *Chlorella pyrenoidosa* Protein/Peptide. *Current Research in Food Science*, 7, Article ID: 100621. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100621>
- [5] 赵艳博, 刘子迈, 王永辉. 发芽糙米全谷物营养代餐粉的研制[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(12): 90-94.
- [6] 杨从国. 榆黄菇多糖代餐粉的研制及其免疫活性研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南农业大学, 2023.
- [7] 朱婉榕, 陆德财, 王紫琳, 等. 膨化核桃代餐粉的加工工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(8): 119-122, 162.
- [8] 周玉蓉, 姚铁俊, 王博, 等. 基于模糊数学感官评价法优化杂粮代餐粉配方[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(4): 103-109+117.
- [9] 王敏, 孙大利, 郭正艳, 等. 薏苡仁复合代餐粉的研发及其营养指标分析[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(16): 142-149.
- [10] 谢艳东, 邓晓东, 严阳, 等. 石斛马铃薯复合代餐粉的工艺优化及体内 GI 值测定[J]. 食品与发酵科技, 2023, 59(2): 83-90.
- [11] 霍瑞, 张美莉, 张园园, 等. 挤压膨化结合微粉碎制备高纤维谷物代餐粉及其品质评价[J]. 中国食品学报, 2022, 22(11): 228-237.
- [12] 王艳领, 余磊, 田春美. 芽孢杆菌发酵法提取铁皮石斛多糖、多肽及其抗氧化活性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(2): 218-226.
- [13] 丁韵凤, 刘元媛, 李峰, 等. 响应面法优化鹿茸多肽酶解工艺研究[J]. 中华中医药学刊, 2021, 39(4): 123-125.
- [14] 都阳, 张婧婕, 何晓叶, 等. 双蛋白营养代餐粉的配制及其品质特性分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 185-190.
- [15] 刘禹, 刘发云, 陈一萌, 等. 基于主成分分析干燥方式对红心猕猴桃粉品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2025, 61(3): 33-39.

- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB5009.5-2016 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB5009.6-2016 食品安全国家标准食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [18] 樊朵朵. 麦麸膳食纤维的改性及其功能特性研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南工业大学, 2025.
- [19] 郭靖, 戴晶晶. 复合膳食纤维果蔬制品在膳食调控中的应用研究[J]. 食品安全导刊, 2025(7): 116-118.
- [20] 王竹, 邢青斌, 崔亚娟, 等. 食品中膳食纤维测定方法的要点与应用[J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(10): 1191-1198.
- [21] 马寅龙, 田大芝. 赤藓糖醇的功能特性及其饮料开发研究进展[J]. 饮料工业, 2024, 27(4): 74-79.