DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251202005
引用格式: 刘紫怡, 王旭. 葡萄籽原花青素降血糖果冻的配方及加工工艺研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(6): 137–146.
LIU ZY, WANG X. Research on the formulation and processing technology of grape seed procyanidins hypoglycemic jelly [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(6): 137–146. (in Chinese with English abstract).

葡萄籽原花青素降血糖果冻的配方及加工工艺研究

刘紫怡, 王　旭*

(天津科技大学食品科学与工程学院, 天津　300457)

摘　要: 目的　研究葡萄籽原花青素降血糖果冻的最佳配方和制作工艺。**方法**　以葡萄籽原花青素提取物为主要原料, 以感官评价和 *α*-淀粉酶抑制活性为主要评价指标, 设计单因素和正交试验分别进行配方优化和工艺优化, 并对最终产品进行感官特性、理化指标和降血糖活性分析。**结果**　葡萄籽原花青素降血糖果冻的最佳配方添加比例为葡萄籽原花青素提取物 0.3%、复合胶 3.0%、柠檬酸 0.030%、甜菊糖苷 0.04%; 最佳制作工艺为煮胶时间 6 min、煮胶温度 90 ℃、灭菌时间 15 min、灭菌温度 85 ℃。最终得到的葡萄籽原花青素降血糖果冻 *α*-淀粉酶抑制率为 82.25%, 含可溶性固形物(15.26±1.09)%, pH (4.13±0.03), 观察到第 14 d 总析水率为(25.52±0.26)%, 具有较好的质构特性和流变特性。**结论**　根据此配方研制出的果冻符合市场需求, 成型稳定且具有较高的 *α*-淀粉酶抑制活性, 可作为供糖尿病患者食用的休闲食品, 具有良好应用前景。

关键词: *α*-淀粉酶抑制剂; 降血糖果冻; 葡萄籽原花青素; 质构特性; 流变特性

Research on the formulation and processing technology of grape seed procyanidins hypoglycemic jelly

LIU Zi-Yi, WANG Xu*

(*School of Food Science and Engineering*, *Tianjin University of Science & Technology*, *Tianjin* 300457, *China*)

ABSTRACT: Objective　To study the optimum formula and processing technology of grape seed procyanidins hypoglycemic jelly. **Methods**　Using grape seed procyanidins extract as the main raw material, sensory evaluation and *α*-amylase inhibition activity as the main evaluation indexes, single factor and orthogonal experiments were designed to optimize the formula and process respectively and the sensory characteristics, physical and chemical indexes and hypoglycemic activity of the final product were analyzed. **Results**　The optimum formula of grape seed procyanidins hypoglycemic jelly was 0.3% grape seed procyanidins extract, 3.0% compound gum, 0.030% citric acid and 0.04% stevioside. The optimum processing technology was boiling time 6 min, boiling temperature 90 ℃, sterilization time 15 min and sterilization temperature 85 ℃. The finally obtained grape seed procyanidins

收稿日期: 2025-12-02
第一作者: 刘紫怡(2005—), 女, 主要研究方向为食品营养与安全。E-mail: 3491118420@qq.com
***通信作者:** 王旭(1983—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为食品营养与安全。E-mail: xuwang@tust.edu.cn

hypoglycemic jelly had an α-amylase inhibition rate of 82.25%, a soluble solid content of (15.26±1.09)% and a pH of (4.13±0.03). It was observed that the total dehydration rate on the 14th d was (25.52±0.26)%, which had good texture and rheological properties. **Conclusion** The jelly developed according to this formula meets the market demand, has stable molding and high α-amylase inhibitory activity and can be used as a snack food for diabetic patients, with good application prospects.

KEY WORDS: α-amylase inhibitor; hypoglycemic jelly; grape seed procyanidins; textural properties; rheological properties

0 引 言

糖尿病(diabetes mellitus, DM)是一种以高血糖为特征的代谢性疾病[1], 已成为 21 世纪最严重的健康挑战之一[2]。国际糖尿病联合会数据显示, 2021 年全球糖尿病患者(20~79 岁)约为 5.366 亿, 预计 2045 年将增加到 7.832 亿[3]。而且随着生活水平的提高, 2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)的发病呈现明显的年轻化趋势[4]。目前, 临床常用的 α-淀粉酶抑制剂(如阿卡波糖、米格列醇)虽能有效降低血糖[5], 但长期服用会导致腹泻、腹胀和肝损伤等毒副作用[6]。因此, 开发具有降血糖活性的天然产物和功能性食品具有重大意义。

原花青素是一类广泛存在于植物中的多酚化合物[7]。近年来大量研究表明天然来源的多酚类物质对 α-淀粉酶具有显著的抑制活性[8–11]。葡萄籽作为葡萄酒工业的副产物, 资源丰富[12], 但目前在我国的综合利用率较低, 造成了较大的资源浪费。葡萄籽富含原花青素, 不仅具有抗氧化、抗菌和抗糖尿病特性[13], 还能通过抑制 α-淀粉酶的活性, 延缓碳水化合物在肠道内的水解和消化, 从而平稳餐后血糖, 减少胰岛素分泌[14]。葡萄籽原花青素是目前功能食品中应用最广泛的原花青素之一, 其在淀粉消化中的调控作用备受关注[15], 应用于功能食品开发前景广阔[16]。

果冻作为一种口感独特、食用便捷的休闲食品, 深受各年龄段消费者喜爱。近年来, 果冻产品的研发越来越倾向于健康化和功能性[17–20]。然而, 现有研究在利用葡萄籽原花青素开发降血糖休闲食品方面存在不足, 大多数研究聚焦于原料提取或体外活性评价, 缺乏系统性、定量化的产品配方与工艺优化研究, 开发的产品在感官品质与功能活性之间的平衡方面研究尚不充分, 且对其贮藏稳定性、流变特性等工业化生产关键特性的系统评估较为欠缺。

本研究以葡萄籽来源的原花青素提取物为主要原料, 创新性地通过单因素和正交试验优化葡萄籽原花青素降血糖果冻的制作配方和加工工艺, 通过对产品的理化指标和 α-淀粉酶抑制活性进行测定, 并将其与市面上购买到的 3 款产品进行析水性、色度、质构特性和流变特性分析, 系统评估其品质特性。本研究旨在开发一款兼具优良感官品质与降糖活性的新型功能性果冻, 为葡萄籽副产物的高值化利用提供新途径, 也为功能性休闲食品的开发提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

市售果冻购自于当地超市。

葡萄籽原花青素提取物(纯度 95%, 西安锐禾生物工程技术有限公司); 黄原胶(食品级, 内蒙古阜丰生物科技有限公司); 魔芋胶(食品级, 湖北一致魔芋生物科技股份有限公司); 卡拉胶(食品级, 新绿食品有限公司); 甜菊糖苷(食品级, 曲阜圣仁制药有限公司); 柠檬酸(食品级, 潍坊英轩实业有限公司); 山梨酸钾(食品级, 山东昆达生物科技有限公司); 猪胰腺 α-淀粉酶(10 U/mg, 上海源叶生物科技有限公司); 磷酸盐缓冲液(phosphate-buffered saline, PBS)(0.01 mol/L, pH 7.4, 武汉赛维尔生物科技有限公司); 3,5-二硝基水杨酸试剂(3,5-dinitrosalicylic acid reagent, DNS)(分析纯, 北京索莱宝科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

TU-1810 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); TA.XT PLUSC 质构仪(英国 Stable Micro Systems 公司); ABL 半微量分析天平(精度 0.1 mg, 艾德姆衡器有限公司); PB-10 pH 计(德国赛多利斯股份公司); MARS 60 流变仪(德国 HAAKE 公司); CS-580A 分光测色仪(浙江彩谱科技有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

工艺流程如图 1 所示。

1.3.2 操作要点

首先, 取适量葡萄籽原花青素提取物粉末, 于沸水中浸泡 30 min, 制成葡萄籽原花青素提取液备用; 将卡拉胶、魔芋胶和黄原胶按照质量比为 2:1:1 的比例混合均匀, 调配成复合胶粉末备用。然后, 将复合胶粉末和甜菊糖苷加入到原花青素提取液中, 快速搅拌均匀, 室温静置 20 min 使胶体充分溶胀。待胶液溶胀充分后, 将其高温加热溶解, 边煮边搅拌直至充分溶解。将溶解后的胶液冷却至 70 ℃, 向其中加入柠檬酸和山梨酸钾, 搅拌均匀, 密封保存。

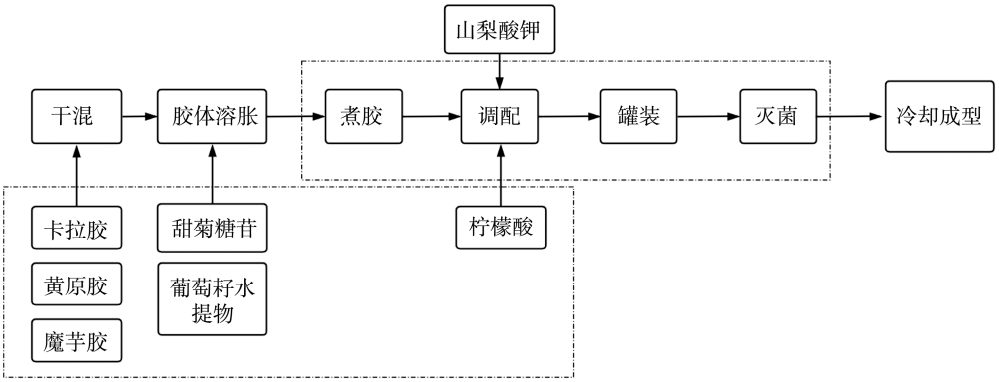


图 1　葡萄籽原花青素降血糖果冻工艺流程图

Fig.1　Technological flow chart of grape seed proanthocyanidins hypoglycemic jelly

葡萄籽原花青素降血糖果冻成品采用巴氏灭菌法进行灭菌并于低温条件下贮藏, 以便能够最大限度地维持果冻的色泽和风味。

1.3.3　单因素试验设计

以葡萄籽原花青素提取物添加量 0.3%、复合胶添加量 3%、甜菊糖苷添加量 0.02%和柠檬酸添加量 0.04%作为基础配方, 以煮胶温度 80 ℃、煮胶时间 5 min、灭菌温度 85 ℃和灭菌时间 20 min 作为基础工艺, 分别设计单因素试验进行配方优化和工艺优化。

以感官评分、弹性和咀嚼性为指标, 分别按每 100 mL 提取物添加葡萄籽原花青素(0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%)、复合胶添加量(2.8%、2.9%、3.0%、3.1%、3.2%)、甜菊糖苷添加量(0.010%、0.015%、0.020%、0.025%、0.030%)和柠檬酸添加量(0.030%、0.035%、0.040%、0.045%、0.050%)进行单因素试验。

以感官评分, 弹性和咀嚼性为指标, 分别对煮胶温度(70、75、80、85、90 ℃)、煮胶时间(3、4、5、6、7 min)、灭菌温度(75、80、85、90、95 ℃)和灭菌时间(10、15、20、25、30 min)进行单因素试验。

1.3.4　正交试验设计

在单因素试验基础上, 设计 4 因素 3 水平正交试验进行果冻的配方优化(表 1)和工艺优化(表 2)。配方优化正交试验选取(*A*)葡萄籽提取物添加量、(*B*)复合胶添加量、(*C*)甜菊糖苷添加量和(*D*)柠檬酸添加量 4 个因素为自变量; 工艺优化正交试验选取(*E*)煮胶温度、(*F*)煮胶时间、(*G*)灭菌温度和(*H*)灭菌时间 4 个因素为自变量。以感官评价和 *α*-淀粉酶抑制活性为指标, 以期获得综合性能较好的产品。

1.3.5　感官评价

根据 GB 19299—2015《食品安全国家标准 果冻》的检验方法, 邀请 10 位经过专业技术培训并具有感官品评经验的食品科学与工程专业研究生, 将待测样品倒入白色瓷盘内, 在明亮的自然光处肉眼观察色泽、组织状态和杂质, 并鉴别其风味, 感官评定表(表 3)如下。

表 1　配方优化的正交试验因素和水平

Table 1　Orthogonal experiment factors and levels of formula optimization

水平	因素			
	A: 葡萄籽提取物添加量/%	*B*: 复合胶添加量/%	*C*: 甜菊糖苷添加量/%	*D*: 柠檬酸添加量/%
1	0.2	2.9	0.040	0.020
2	0.3	3.0	0.045	0.025
3	0.4	3.1	0.050	0.030

表 2　工艺优化的正交试验因素和水平

Table 2　Orthogonal experiment factors and levels of process optimization

水平	因素			
	E: 煮胶温度/℃	*F*: 煮胶时间/min	*G*: 灭菌温度/℃	*H*: 灭菌时间/min
1	80	5	80	10
2	85	6	85	15
3	90	7	90	20

表 3　感官评价表

Table 3　Sensory evaluation table

项目	指标	评分
色泽	均匀透亮, 有光泽	18~25
	较均匀透亮, 较有光泽	9~17
	不均匀透亮, 色泽深浅不一, 无光泽	0~8
组织状态	光滑有弹性, 组织细腻均匀, 透明胶状, 无絮状物	18~25
	较光滑, 弹性一般, 组织较均匀细腻, 透明度一般, 无明显絮状物	9~17
	组织粗糙, 弹性较差, 透明度低, 有絮状物	0~8
风味	酸甜适中, 口感清爽不甜腻, 无涩味, 无异味	18~25
	味道较淡, 酸甜较适中, 略有涩味, 无异味	9~17
	酸甜味不适宜, 口感不清爽, 有涩味, 略有异味	0~8
杂质	无肉眼可见气泡杂质	18~25
	有些许肉眼可见气泡杂质	9~17
	有大量肉眼可见气泡杂质	0~8

1.3.6 α-淀粉酶活性测定

α-淀粉酶抑制率的测定方法参考 WANG 等[21]，并加以修改。将待测果冻样品冷冻干燥 12 h 后研磨成粉，PBS 缓冲液搅拌复溶，制成待测样液备用。取 100 μL 待测样液与 50 μL α-淀粉酶溶液(0.5 mg/mL, PBS)在 37 ℃水浴中保温 15 min，然后加入 100 μL 可溶性淀粉溶液，连续保温 10 min 后，加入 200 μL DNS 试剂于 95 ℃水浴中加热 5 min 以终止反应。用 2 mL 去离子水稀释冷却后的反应溶液，测定 540 nm 处的吸光度。用公式(1)计算 α-淀粉酶活性的抑制率:

$$I=\frac{A_b-A_s}{A_b}\times 100\% \quad (1)$$

式中: I 为 α-淀粉酶抑制率, %; A_b 为不含待测样液时所释放的产物的吸光度; A_s 为含待测样液时所释放的产物的吸光度。

1.3.7 葡萄籽原花青素降血糖果冻品质特性的测定

葡萄籽原花青素降血糖果冻中可溶性固形物的测定方法参考 NY/T 2637—2014《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法》进行测定；pH 的测定参照 NOGUEROL 等[22]的方法并稍作修改；参考 GARCÍA-SEGOVIA 等[23]的方法使用分光测色仪记录样品的 L^*、a^*、b^*; 将果冻样品分别在 4 ℃冷藏的条件下放置 14 d，隔天进行一次称重并计算析水率。

1.3.8 质构特性测定

采用 TA.XT PLUSC 质构仪对葡萄籽原花青素降血糖果冻的质构特性进行 TPA 测定，测试参数为: 探头 P50，触发点负载值 5 g，压缩变形量 50%，停留时间 5 s，预测试速度 1 mm/s，测试速度 2 mm/s，返回速度 5 mm/s。

1.3.9 流变特性的测定

采用直径为 65 mm 平行板进行果冻流变特性的测定，板间距设置为 0.8 mm，测定温度为 25.0 °C，记录剪切速率从 0.01 s^{-1} 到 1000 s^{-1} 时对应的剪切应力和表观黏度的变化，并应用 Herschel-Bulkley 方程对剪切应力进行拟合，见公式(2):

$$\delta=\delta_0+K\cdot\gamma^n \quad (2)$$

式中: δ 为剪切应力, Pa; δ_0 为屈服应力, Pa; γ 为剪切速率, s^{-1}; K 为稠度系数, Pa·s^n; n 为流动性为指数。

设置参数应力为 1%，记录剪切速率从 0.1 s^{-1} 到 10 s^{-1} 时对应的储能模量(G')和损耗模量(G'')。

1.4 数据处理

本试验每组数据均测定至少 3 次平行，采用 Origin 2019 软件进行数据的处理，单因素方差分析进行统计学分析，采用邓肯氏新复极差法进行组间比较。

2 结果与分析

2.1 配方优化

2.1.1 单因素试验

不同原料配比对葡萄籽原花青素降血糖果冻感官评价和质构特性的影响见图 2。

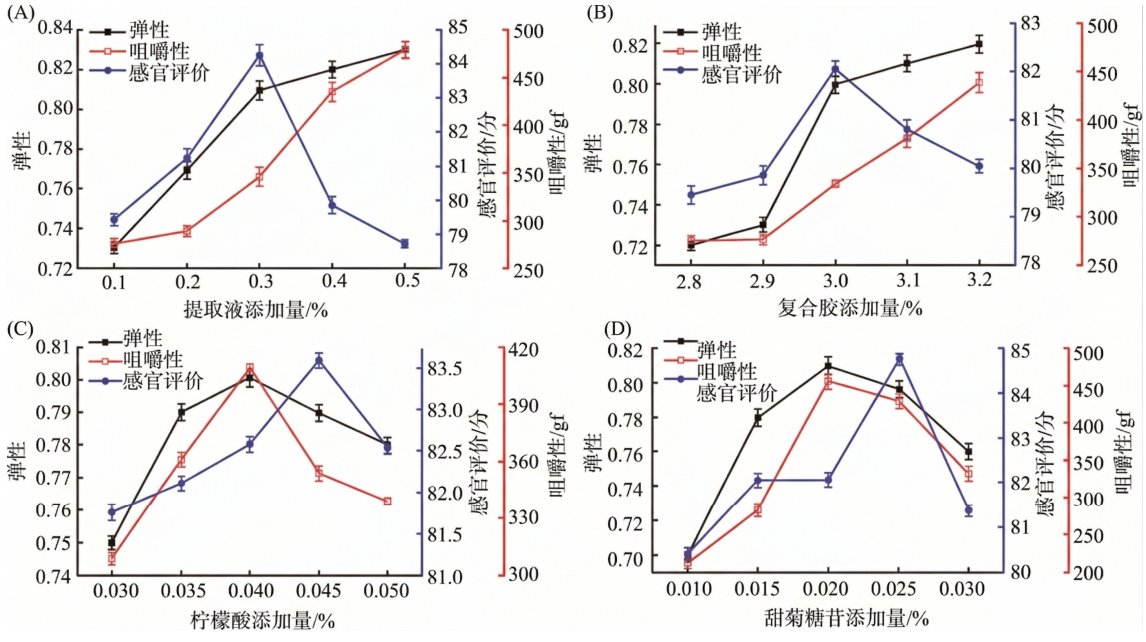


图 2 不同原料配比对葡萄籽原花青素降血糖果冻品质的影响

Fig.2 Effects of different proportions of raw materials on the quality of grape seed procyanidins hypoglycemic jelly

由图 2(A)可知, 随着葡萄籽原花青素提取物添加量的增加, 果冻的感官评价呈先上升后下降的趋势, 当提取物添加量为 0.3%时, 感官评分最高。这是因为随着提取液添加量的增加, 果冻的涩味, 弹性和咀嚼性逐渐升高, 当提取物添加量增至 0.3%时, 果冻呈透亮的粉红色, 风味协调, 硬度适中, 果冻的感官品质最高。由图 2(B)可知, 复合胶添加量在 3.0%时感官评价最高, 这是因为随着复合胶添加量的增多, 果冻凝固成型好且稳定, 但过高的弹性和咀嚼性会使口感降低。由图 2(C)可知, 柠檬酸添加量的感官评价分值在 0.045%时最高, 这可能是因为随着柠檬汁添加量的增多, 总体产品的风味逐渐酸甜适口。但当酸度过高时, 凝胶体系发生水解, 果冻弹性和咀嚼性降低使得整体口感变差。由图 2(D)可知, 随着甜菊糖苷添加量的增加, 感官评分逐渐升高, 在 0.025%时达到最大值, 此时的果冻产品甜度适中, 口感平衡。当添加量大于 0.025%时, 总体可接受性变低, 这可能是由于甜菊糖苷对果冻胶体的凝胶化和凝胶稳定性具有强烈影响[24]。

2.1.2　正交试验

为优化葡萄籽原花青素降血糖果冻的原料配比, 在单因素试验的基础上, 以 *α*-淀粉酶抑制活性和感官评价作为正交试验的评定标准, 以(*A*)葡萄籽原花青素添加量、(*B*)复合胶添加量、(*C*)甜菊糖苷添加量和(*D*)柠檬酸添加量为 4 因素, 进行 $L_9(3^4)$正交试验, 结果如表 4 所示。

由表 4 可知, 对葡萄籽原花青素降血糖果冻感官评价影响的先后顺序为: *A*>*C*>*D*>*B*, 即葡萄籽原花青素添加量对感官评价影响最大, 复合胶添加量对感官评价影响最小。由 *k* 值可以得到配方的最优组合为 $A_2B_2C_1D_3$, 即葡萄籽原花青素添加量为 0.30%, 复合胶添加量为 3.0%, 柠檬酸添加量为 0.03%, 甜菊糖苷添加量为 0.04%。

对葡萄籽原花青素降血糖果冻 *α*-淀粉酶抑制活性影响的先后顺序为: *A*>*C*>*B*>*D*, 即葡萄籽原花青素添加量对 *α*-淀粉酶抑制活性影响最大, 柠檬酸对 *α*-淀粉酶抑制活性影响最小。由 *k* 值可以得到配方的最优组合为 $A_3B_2C_1D_3$, 即葡萄籽粉添加量为 0.4%, 复合胶添加量为 3.0%, 柠檬酸添加量为 0.030%, 甜菊糖苷添加量为 0.04%。

综合正交试验的 *α*-淀粉酶抑制活性和感官评分两个指标, 考虑到不同添加量的葡萄籽原花青素对感官评分的影响较大, 为了能够得到最佳的食用口感, 最终综合选择以 $A_2B_2C_1D_3$ 为最优配方进行工艺优化。

2.2　工艺优化

2.2.1　单因素试验结果

不同工艺条件对葡萄籽原花青素降血糖果冻感官品质的影响见图 3。

表 4　配方优化的正交试验结果与分析

Table 4　Orthogonal text results and analysis of formula optimization

编号	*A*: 葡萄籽原花青素提取物添加量/%	*B*: 复合胶添加量/%	*C*: 甜菊糖苷添加量/%	*D*: 柠檬酸添加量/%	感官评分/分	抑制活性/%
1	1	1	1	1	80.00	56.59
2	1	2	2	2	81.03	56.44
3	1	3	3	3	79.63	51.98
4	2	1	3	2	79.30	74.32
5	2	2	1	3	84.80	78.59
6	2	3	2	1	82.33	72.58
7	3	1	2	3	79.80	90.07
8	3	2	3	1	76.87	86.77
9	3	3	1	2	78.90	89.62
感官评分						
k_1	80.22	79.70	81.23	79.73		
k_2	82.14	80.90	81.06	79.74		
k_3	78.52	80.29	78.60	81.41		
R	3.62	1.20	2.63	1.67		
抑制活性						
k_1	55.01	73.66	74.93	71.98		
k_2	75.16	73.93	73.03	73.46		
k_3	88.82	71.39	71.03	73.55		
R	33.81	2.54	3.91	1.57		

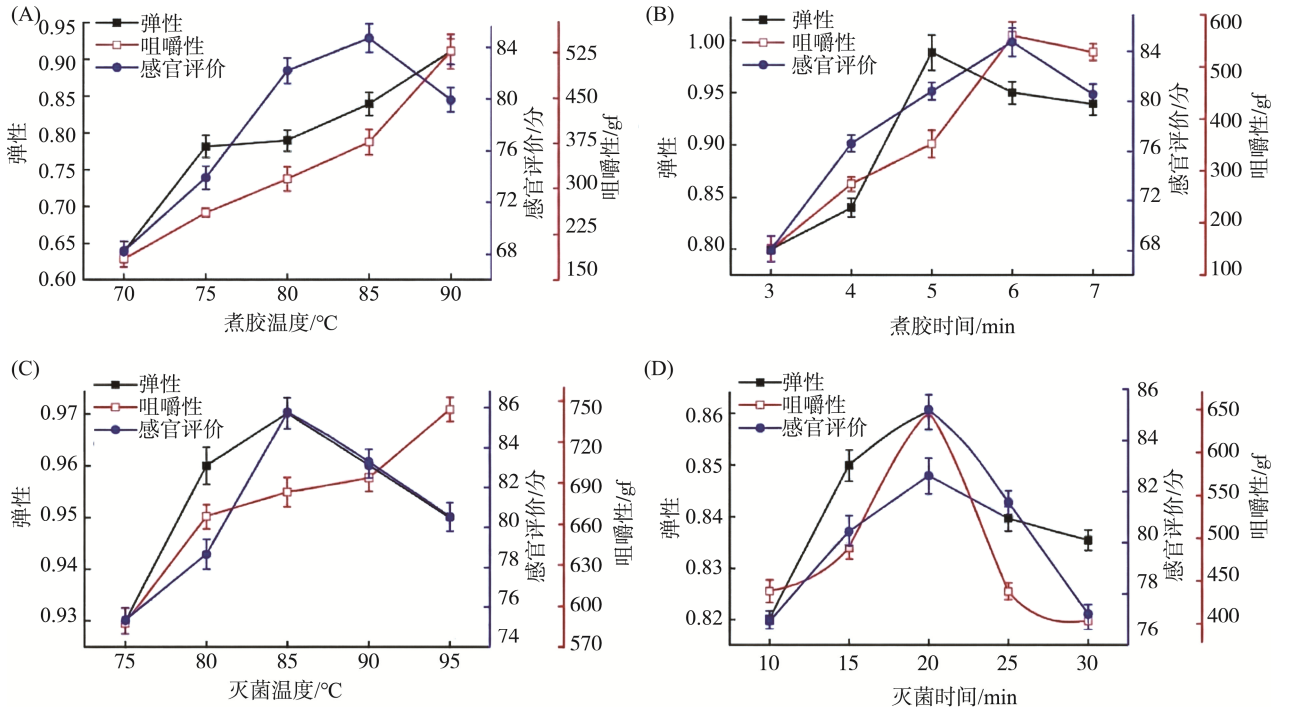


图 3 不同工艺条件对葡萄籽原花青素降血糖果冻品质的影响

Fig.3 Effects of different technological conditions on the quality of grape seed procyanidins hypoglycemic jelly

如图 3(A)所示，感官评价随着煮胶温度的增加先逐渐升高，在 85 ℃时达到最高值，而后呈下降趋势，这是因为在升温的过程中，凝胶体系分子逐渐转变为无序排列状态，无序排列状态的分子越多，凝胶化能力越强，凝胶强度越大。当反应体系超过 85 ℃以后，弹性和咀嚼性过强导致利口性变差，感官评价降低。如图 3(B)所示，感官评价随着煮胶时间的增加先逐渐升高，在 6 min 时达到最高值，而后呈下降趋势，这是因为随着煮胶的持续进行，长时间的高温使得果冻弹性和咀嚼性降低，口感变差。如图 3(C)所示，感官评价随着灭菌温度的增加先逐渐升高而后逐渐降低，考虑到较高的温度可能会导致凝胶体系分子无序性增加，破坏口感和风味，因此选择 85 ℃为灭菌温度。如图 3(D)所示，感官评价随着灭菌时间的增加先逐渐升高，在 15 min 时达到最大值，而后逐渐降低，感官评分的降低主要是因为凝胶状态变弱，果冻质地绵软，弹性和咀嚼性变差。

2.2.2 正交试验结果

由表 5 可知，对葡萄籽原花青素降血糖果冻感官评价影响的先后顺序为：$E>F>G>H$，即煮胶温度对感官评价影响最大，灭菌时间对感官评价影响最小。由 k 值可以得到工艺的最优组合为 $E_3F_2G_2H_2$，即煮胶温度为 90 ℃，煮胶时间为 6 min，灭菌温度为 85 ℃，灭菌时间为 15 min。

对葡萄籽原花青素降血糖果冻 α-淀粉酶抑制活性影响的先后顺序为：$E>F>H>G$，即煮胶温度对 α-淀粉酶抑制活性影响最大，灭菌温度对酶抑制活性影响最小。由 k 值可以得到工艺的最优组合为 $E_1F_2G_1H_1$，即煮胶温度为 80 ℃，煮胶时间为 6 min，灭菌温度为 80 ℃，灭菌时间为 10 min。

综合正交试验的 α-淀粉酶抑制活性和感官评分两个指标，为了在保证葡萄籽原花青素降血糖果冻具有一定的酶抑制活性前提下，制得的降血糖果冻获得最佳食用口感，最终综合选择以 $E_3F_2G_2H_2$ 为最优配方。

2.3 葡萄籽原花青素降血糖果冻的品质特性

应用正交试验得到的最佳配方和制作工艺制得葡萄籽原花青素降血糖果冻，对其进行感官评价和相关理化指标测定。葡萄籽原花青素降血糖果冻整体呈浅紫红色，外观均匀透亮，具有淡淡的葡萄籽特有风味，酸甜适中，口感清爽，无气泡杂质(图 4)。经测定，果冻 pH 为(4.13±0.03)，α-淀粉酶抑制活性为 82.25%，可溶性固形物含量为(15.26±1.09)%，符合 GB 19299—2015 中制定的标准，具有潜在的降血糖功效，可作为糖尿病患者的休闲食品。

2.4 色 度

葡萄籽原花青素降血糖果冻与市面上购买的 3 款常见果冻产品的色差分析结果见图 5。

L^*代表亮度，L^*越小，代表亮度越低。如图 5 所示，葡萄籽原花青素降血糖果冻的亮度介于其他 3 款果冻之间，果冻的色泽直接影响到消费者的购买欲，通常情况下亮度高的产品会对消费者更有吸引力。a^*代表红绿色度，a^*为正代表偏红色，a^*为负代表偏绿色；b^*代表黄蓝色度，b^*为正代表偏黄色，b^*为负代表偏蓝色，这主要是由不同果冻制备原料颜色的差异导致的。

表 5　工艺优化的正交试验结果与分析

Table 5　Orthogonal experiment results and analysis of process optimization

编号	*E*：煮胶温度/℃	*F*：煮胶时间/min	*G*：灭菌温度/℃	*H*：灭菌时间/min	感官评分/分	抑制活性/%
1	1	1	1	1	68.00	80.14
2	1	2	2	2	82.25	78.89
3	1	3	3	3	81.00	78.45
4	2	1	3	2	82.75	74.37
5	2	2	1	3	87.25	78.67
6	2	3	2	1	88.00	78.23
7	3	1	2	3	87.00	65.80
8	3	2	3	1	90.75	73.37
9	3	3	1	2	91.00	71.13
感官评分						
k_1	77.08	79.25	82.08	82.25		
k_2	86.00	86.75	85.75	85.33		
k_3	89.58	86.67	84.83	85.08		
R	12.50	7.50	3.67	3.08		
抑制活性						
k_1	79.16	73.43	76.65	77.25		
k_2	77.09	76.98	74.30	74.79		
k_3	70.10	75.93	75.40	74.30		
R	9.06	3.54	1.25	2.94		



图 4　葡萄籽原花青素降血糖果冻

Fig.4　Grape seed procyanidins hypoglycemic jelly

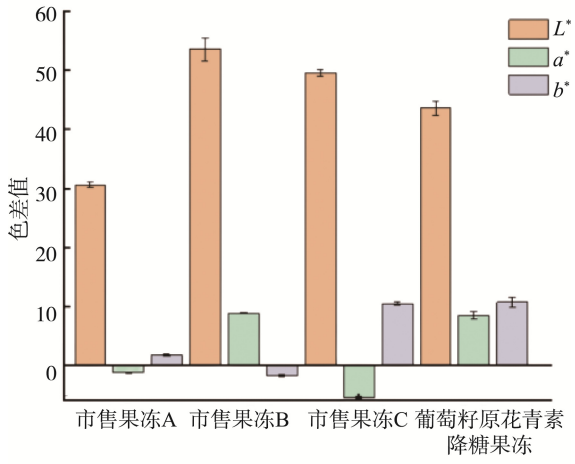


图 5　4 款果冻的色差分析

Fig.5　Color analysis of 4 types of jelly

2.5　析水性

析水性是果冻凝胶持水性的重要判断依据，水分的保持不仅有利于维持果冻的口感，还可以延长产品的货架期[25]。对葡萄籽原花青素降血糖果冻和市面上购买的 3 款不同品牌的果冻进行析水性评价，观察 14 d 内的析水率，结果见图 6。

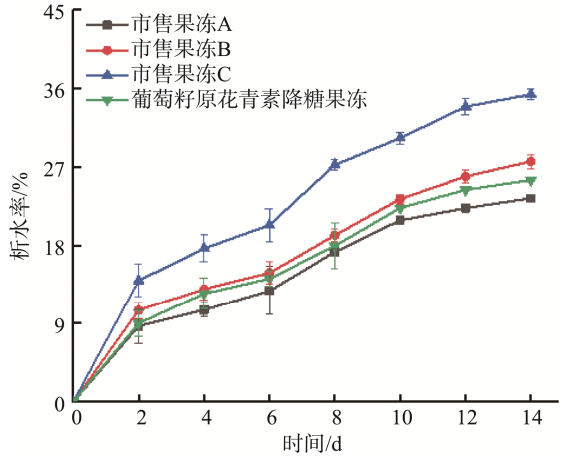


图 6　4 款果冻的析水率分析

Fig.6　Analysis of water separation rate of 4 types of jelly

如图 6 所示，葡萄籽原花青素降血糖果冻的析水率介

于市售果冻 A 和市售果冻 B 之间，到第 14 d 时总析水率为(25.52±0.26)%，析水率最高的为市售果冻 C，共析水初始总重量的(35.33±0.63)%。析水率与果冻配方中的复合胶添加量有关，析水率过高，会导致储存过程中果冻易碎，风味的浓郁度变化也更明显[26]。

2.6 质构特性

表 6 为 4 种果冻的质构结果，通过模拟食物在口腔中的咀嚼行为，测定了食物的硬度，弹性，咀嚼性，内聚性等主要质构指标[27]。内聚性能够反映果冻凝胶分子之间相互作用的强度，体现为抵抗外力损伤和保持完整性的能力大小[28]。将本研究中制备的葡萄籽原花青素降血糖果冻与市面上购买的 3 款品牌果冻进行对比，在硬度方面与市售果冻 B 果冻比较接近，属于中等硬度，内聚性较强，质地柔软可口。

2.7 流变特性

葡萄籽原花青素降血糖果冻与从市面上购买的 3 款果冻的静态流变学结果如图 7 所示。

如图 7(A)所示，可以比较明显地看到市售果冻 A 果冻的表观黏度较高，市售果冻 B 的表观黏度较低，自制款的葡萄籽原花青素降血糖果冻与市售果冻 C 果冻的表观黏度比较相近，介于 4 款果冻之间。经非线性拟合，符合 Herschel-Bulkley 模型(R^2>0.98)[图 7(B)、表 7]。δ_0、K 和 n 分别表示屈服应力、稠度系数和流动特性指数。δ_0 反映了凝胶承受的临界应力，只有当受力程度高于 δ_0 时，果冻才能流动，δ_0 越高，表明其能承受外力的作用越强。根据计算，葡萄籽原花青素降血糖果冻的 δ_0 和 K 均介于其他 3 款果冻之间，具有良好的静态流变特性，符合市场对果冻产品的

表 6 质构特性测定结果

Table 6 Determination results of texture properties

样品	硬度	脆度	弹性	内聚性	咀嚼性	回复性
葡萄籽原花青素降血糖果冻	1604.39±212.28^{b}	9.58±0.48^{a}	0.92±0.03^{a}	0.79±0.05^{a}	820.05±90.46^{ab}	0.26±0.03^{a}
市售果冻 A	2065.92±34.99^{a}	9.91±0.14^{a}	0.80±0.11^{a}	0.58±0.15^{a}	800.20±33.11^{b}	0.17±0.01^{b}
市售果冻 B	1432.37±59.71^{b}	9.90±0.63^{a}	0.82±0.12^{a}	0.66±0.16^{a}	940.64±61.77^{a}	0.29±0.01^{a}
市售果冻 C	835.00±81.52^{c}	9.66±0.20^{a}	0.77±0.04^{a}	0.65±0.02^{a}	444.29±80.00^{c}	0.12±0.01^{c}

注：相同特性指标之间，不同字母表示差异显著(P<0.05)。

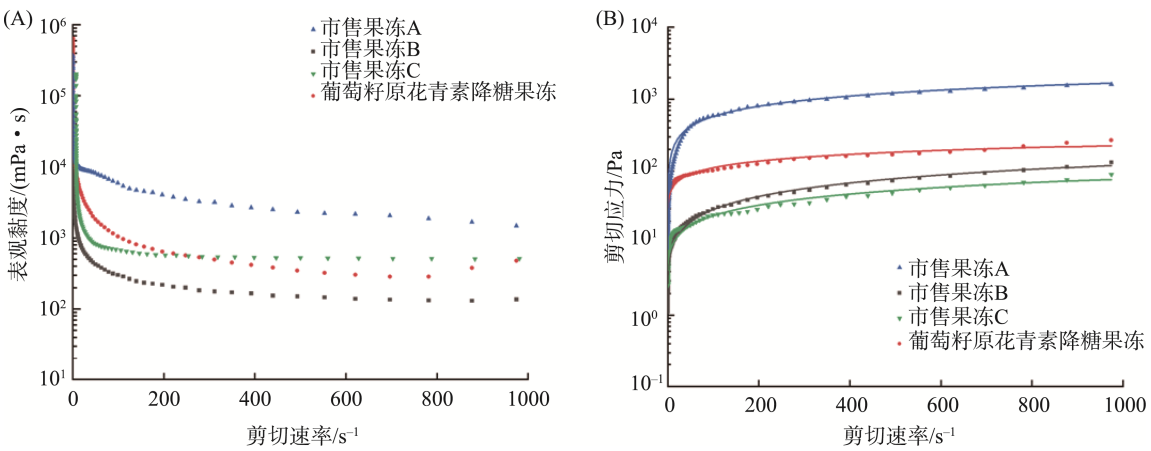


图 7 4 款果冻的表观黏度和剪切应力

Fig.7 Apparent viscosity and shear stress of 4 types of jelly

表 7 4 款果冻的流变学参数

Table 7 Rheological parameters of 4 types of jelly

参数	市售果冻 A	市售果冻 B	市售果冻 C	葡萄籽原花青素降血糖果冻
δ_0/Pa	2.71±0.33	14.13±2.06	0.00±8.04	4.12±0.43
K/(Pa·s^n)	1.33±0.10	20.33±1.79	66.99±4.97	1.44±0.18
n	0.65±0.01	0.34±0.01	0.46±0.01	0.56±0.01
R^2	0.99	0.98	0.99	0.98

注：δ_0 为屈服应力，Pa；K 为稠度系数，Pa·s^n；n 为流动性为指数；R^2 为拟合优度。

期待。在 0.01~1000.00 s^{-1} 的范围内, 4 款产品的表观黏度均随着剪切速率的增加而降低, 具有明显的剪切稀化特征, 且 4 款产品的 n 均小于 1, 属于假塑性流体[29]。

葡萄籽原花青素降血糖果冻与从市面上购买的 3 款果冻的动态流变学结果如图 8 所示。

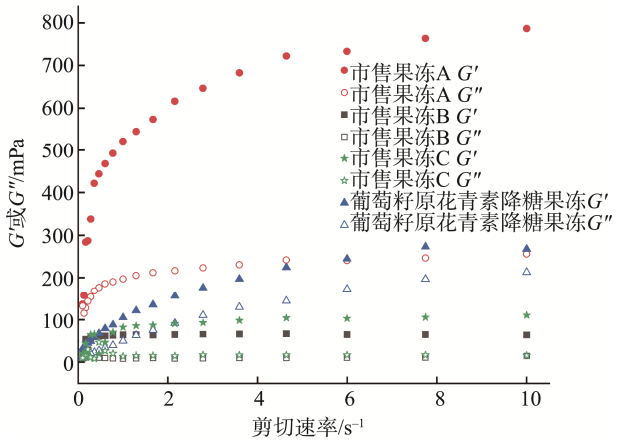


图 8　4 款果冻的动态流变学分析

Fig.8　Dynamic rheological analysis of 4 types of jelly

图 8 展示了 4 款不同果冻的损耗模量(G'')和储能模量(G')。G'体现了凝胶的类固体性质, G''体现了凝胶的类液体性质, 二者的比值 tanδ 若大于 1, 说明样品表现为黏性特征; 若小于 1, 表现为弹性特性。由图可知, 4 款产品的 G' 均大于 G'', 即 tanδ 均小于 1, 说明 4 款果冻均体现为弹性特征, 这是典型的凝胶特性[30]。

3　结　论

本研究采用单因素与正交试验设计对葡萄籽原花青素降血糖果冻的配方和工艺进行优化, 得到最佳的制作条件为葡萄籽原花青素提取物 0.3%、复合胶 3.0%、柠檬酸 0.030%、甜菊糖苷 0.04%; 最佳制作工艺为煮胶时间 6 min、煮胶温度 90 ℃、灭菌时间 15 min、灭菌温度 85 ℃。最终得到的葡萄籽原花青素降血糖果冻 α-淀粉酶抑制率为 82.25%, 理化指标符合相关国家标准, 口感清爽, 酸甜适中, 可以作为糖尿病患者的辅助食品, 为未来果冻市场的天然化和功能性提供了思路。

参考文献

[1] 王美措, 董丽, 黄锐, 等. 中药复方治疗肾阴亏虚型 2 型糖尿病的研究进展[J]. 糖尿病新世界, 2022, 25(18): 195–198.
WANG MC, DONG L, HUANG R, *et al*. Research progress of traditional chinese medicine compound in the treatment of type 2 diabetes due to deficiency of kidney yin [J]. Diabetes New World, 2022, 25(18): 195–198.

[2] DANAEI G, FINUCANE MM, LU Y, *et al*. National, regional, and global trends in fasting plasma glucose and diabetes prevalence since 1980: Systematic analysis of health examination surveys and epidemiological studies with 370 country-years and 2·7 million participants [J]. The Lancet, 2011, 378(9785): 31–40.

[3] OGURTSOVA K, GUARIGUATA L, BARENGO NC, *et al*. IDF diabetes atlas: Global estimates of undiagnosed diabetes in adults for 2021 [J]. Diabetes Research and Clinical Practice. 2022, 183: 109118.

[4] 李博文, 黄卉妍, 赵明, 等. 黑木耳和玉米须复合降糖饮料配方的优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(7): 165–171.
LI BW, HUANG HY, ZHAO M, *et al*. Optimization of the formulation of hypoglycemic compound beverage containing auricularia auricula and stigma maydis [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(7): 165–171.

[5] CHAKRABORTY S, BEURA M, SHARMA SK, *et al*. Lentinan, *β*-glucan from Shiitake (*Lentinula edodes*): A review on structure, conformational transition, and gastro-intestinal interaction contributing towards its anti-diabetic potential [J]. Trends in Food Science & Technology, 2023, 142: 104224.

[6] WU X, HU M, HU X, *et al*. Inhibitory mechanism of epicatechin gallate on *α*-amylase and *α*-glucosidase and its combinational effect with acarbose or epigallocatechin gallate [J]. Journal of Molecular Liquids, 2019, 290: 111202.

[7] OLADELE AK, DUODU KG, EMMAMBUX NM. Pasting, flow, thermal and molecular properties of maize starch modified with crude phenolic extracts from grape pomace and sorghum bran under alkaline conditions [J]. Food Chemistry, 2019, 297: 124879.

[8] YANG X, KONG F. Effects of tea polyphenols and different teas on pancreatic *α*-amylase activity *in vitro* [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 232–238.

[9] 麦延群, 王梦帅, 王张之, 等. 板栗多酚类化合物的提取、药理活性及其应用研究进展[J]. 云南化工, 2025, 52(8): 13–18.
MAI YQ, WANG MS, WANG ZZ, *et al*. Research progress on extraction, pharmacological activities, and applications of chestnut polyphenols [J]. Yunnan Chemical Technology, 2025, 52(8): 13–18.

[10] 邢明霞, 谢凡, 艾连中. 滇橄榄鲜果中多酚提取物的降血糖机制研究[J]. 食品与发酵科技, 2023, 59(2): 1–11.
XING MX, XIE F, AI LZ. Study on hypoglycemic mechanism of polyphenol extract from fresh fruit of *Phyllanthus emblica* L [J]. Food and Fermentation Technology, 2023, 59(2): 1–11.

[11] 张妍, 刘红蕾, 姚月英, 等. 桑叶多酚的鉴定及其抗氧化、抗 *α*-淀粉酶活性分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 59–67.
ZHANG Y, LIU HL, YAO YY, *et al*. Identification of polyphenols from mulberry leaves and their antioxidant and *α*-amylase inhibitory activity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 59–67.

[12] 马帅, 郭朝阳, 沈聪聪, 等. 我国设施葡萄生产管理机械智能化技术现状与发展趋势[J/OL]. 农机化研究, 1-8 [2026-03-19]. https://link.cnki.net/urlid/23.1233.S.20251210.1336.012
MA S, GUO ZY, SHEN CC, *et al*. China's facility grape production management machinery intelligent technology status and development trend [J/OL]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 1-8 [2026-03-19]. https://link.cnki.net/urlid/23.1233.S.20251210.1336.012

[13] PING L, PIZZI A, GUO ZD, *et al*. Condensed tannins from grape pomace: Characterization by FTIR and MALDI TOF and production of environment friendly wood adhesive [J]. Industrial Crops and Products, 2012, 40: 13–20.

[14] HANG Z, TIAN J, FANG H, *et al*. Physicochemical and digestion properties of potato starch were modified by complexing with grape seed proanthocyanidins [J]. Molecules, 2020, 25(5): 1123.

[15] WANG M, JIANG J, TIAN J, *et al*. Inhibitory mechanism of novel allosteric inhibitor, Chinese bayberry (*Myrica rubra Sieb*. et Zucc.) leaves proanthocyanidins against *α*-glucosidase [J]. Journal of Functional Foods, 2019, 56: 286–294.

[16] 迟明梅. 葡萄籽的功能与应用[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(20): 221–224.
CHI MM. The function and application of grape seeds [J]. Food Research and Development, 2016, 37(20): 221–224.

[17] 刘焕举, 高月滢, 刘飞, 等. 豆腐柴果冻的制作工艺优化及其降血糖活性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(10): 2463–2469.
LIU HJ, GAO YY, LIU F, *et al*. Study of processing technology optimization and hypoglycemic activity of jelly from Doufuchai [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(10): 2463–2469.

[18] 王靖铱, 刘梓昭, 侯子怡, 等. 白芸豆中 *α*-淀粉酶抑制剂的提取及其产品研发[J]. 北京农学院学报, 2022, 37(4): 114–117.
WANG JY, LIU ZZ, HOU ZY, *et al*. White kidney bean *α*-amylase inhibitors extraction and product development [J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2022, 37(4): 114–117.

[19] 张明宇, 宋雅婕, 牟庆庆, 等. 金银花雪梨超微粉制备低糖果冻的研究[J]. 中国果菜, 2023, 43(9): 35–40.
ZHANG MY, SONG YJ, MU QQ, *et al.* Study on preparation of honeysuckle submicron powder and snow pear submicron powder low-sugar jelly [J]. China Fruit & Vegetable, 2023, 43(9): 35–40.

[20] 惠瑶瑶, 徐义娟, 张婷, 等. 黑木耳多糖的制备及其在功能性果冻中的应用 [J/OL]. 现代食品科技, 1-15. [2026-02-04]. https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.6.0311
HUI YY, XU YJ, ZHANG T, *et al.* Preparation of polysaccharides from *Auricularia auricula* and its application in functional jelly [J/OL]. Modern Food Science and Technology. 1-15. [2026-02-04]. https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.6.0311

[21] WANG M, CHEN J, YE X, *et al*. *In vitro* inhibitory effects of Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) leaves proanthocyanidins on pancreatic *α*-amylase and their interaction [J]. Bioorganic Chemistry, 2020, 101: 104029.

[22] NOGUEROL AT, MARTA M, PAGÁN MJ. Developing psyllium fibre gel-based foods: Physicochemical, nutritional, optical and mechanical properties [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 122: 107108.

[23] GARCÍA-SEGOVIA P, IGUAL M, NOGUEROL AT, *et al.* Use of insects and pea powder as alternative protein and mineral sources in extruded snacks [J]. European Food Research and Technology, 2020, 246: 703–712.

[24] WANG F, MA R, ZHU J, *et al*. Physicochemical properties, *in vitro* digestibility, and pH-dependent release behavior of starch–steviol glycoside composite hydrogels [J]. Food Chemistry, 2024, 434: 137420.

[25] XI H, WANG AX, QIN WY, *et al*. The structural and functional properties of dietary fibre extracts obtained from highland barley bran through different steam explosion-assisted treatments [J]. Food Chemistry, 2023, 406: 135025.

[26] FIGUEROA LE, GENOVESE DB. Pectin gels enriched with dietary fibre for the development of healthy confectionery jams [J]. Food Technology and Biotechnology, 2018, 56(3): 441–453.

[27] NISHINARI K, FANG Y, ROSENTHAL A. Human oral processing and texture profile analysis parameters: Bridging the gap between the sensory evaluation and the instrumental measurements [J]. Journal of Texture Studies, 2019, 50(5): 369–380.

[28] JIA MY, YU Q, CHEN JJ, *et al*. Physical quality and *in vitro* starch digestibility of biscuits as affected by addition of soluble dietary fiber from defatted rice bran [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 99: 105349.

[29] FENG ZQ, DOU W, ALAXI S, *et al*. Modified soluble dietary fiber from black bean coats with its rheological and bile acid binding properties [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 62: 94–101.

[30] MUÑOZ-ALMAGRO N, GARRIDO-GALAND S, TALADRID D, *et al*. Use of natural low-methoxyl pectin from sunflower by-products for the formulation of low-sucrose strawberry jams [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 102(13): 5957–5964.

(责任编辑: 冯东慧 蔡世佳)