

擂茶黑凉粉冻的制备及其评价

吴宇科, 廖华燕, 黄金铃, 张世奇*

岭南师范学院食品科学与工程学院, 广东 湛江

收稿日期: 2026年8月5日; 录用日期: 2026年9月6日; 发布日期: 2026年9月17日

摘要

研究以黑凉粉和擂茶粉为主要原料, 木糖醇为甜味剂, 经过溶解、熬煮等工艺制备擂茶黑凉粉冻。采用质构仪对产品的硬度、弹性、胶粘性和咀嚼性等多方面进行定量分析, 并结合专业小组的定性评分进行检验。结果表明: 当黑凉粉添加量为3.00%、擂茶粉添加量为0.70%、木糖醇添加量为5.00%时, 产品的质构特性与感官品质达到最佳平衡。此外, 为解决基础配方产品在贮藏过程中易出现分层、析水等稳定性问题, 引入卡拉胶作为复配稳定剂; 稳定性实验显示, 当卡拉胶添加量为0.30%时, 产品的贮藏稳定性显著提升。按此配方制作的擂茶黑凉粉冻, 色泽均匀, 口感爽滑弹韧, 兼具凉粉草的草本清香与擂茶的醇厚风味, 咸甜适口; 且产品贮藏中无分层、析水、变色现象, 稳定性良好。

关键词

黑凉粉, 擂茶粉, 卡拉胶, 质构分析, 感官评分

Preparation and Evaluation of Lei Cha Black Grass Jelly

Yuke Wu, Huayan Liao, Jinling Huang, Shiqi Zhang*

College of Food Science and Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang Guangdong

Received: August 5, 2026; accepted: September 6, 2026; published: September 17, 2026

Abstract

In this study, Lei Cha black grass jelly was prepared by dissolving, boiling, and other processes, using black grass jelly powder and Lei Cha powder as the main raw materials, with xylitol as the sweetener. The hardness, springiness, cohesiveness, chewiness, and other texture indicators of the product were quantitatively determined using a texture analyzer, combined with qualitative scoring by a professional sensory evaluation panel, to systematically explore the effects of raw material addition

*通讯作者。

文章引用: 吴宇科, 廖华燕, 黄金铃, 张世奇. 擂茶黑凉粉冻的制备及其评价[J]. 食品与营养科学, 2026, 15(5): 578-590. DOI: 10.12677/hjfn.2026.155061

levels on product quality. The results showed that when the addition amounts of black grass jelly powder, Lei Cha powder, and xylitol were 3.00%, 0.70%, and 5.00%, respectively, the texture characteristics and sensory quality of the product achieved the optimal balance. Aiming at the stability defects of the product prepared with the basic formula, such as easy delamination and water separation during storage, carrageenan was introduced as a compound stabilizer. Through the screening of stability tests, it was determined that the optimal addition amount of carrageenan was 0.30%, at which point the storage stability of the product was significantly improved. The Lei Cha black grass jelly prepared with the optimal formula had a uniform color with no obvious color difference; its taste was smooth and delicate, with good springiness and chewiness; its flavor was coordinated and unified, integrating the natural herbal fragrance of *Mesona chinensis* and the mellow and unique flavor of Lei Cha, with a proper balance of saltiness and sweetness. In addition, no delamination, water separation, discoloration, or other phenomena were observed during storage, indicating excellent stability.

Keywords

Black Grass Jelly, Lei Cha Powder, Carrageenan, Texture Analysis, Sensory Scoring

Copyright © 2026 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

擂茶是将茶叶、绿豆、薄荷、花生等原料放入擂钵细研慢磨至浆状[1],经沉淀、纱布过滤后用开水冲服的健康养生茶饮[2],具有生津止渴、清凉解暑、健脾养胃、美容养颜等功效[3]。目前,关于擂茶成分提取的研究报道较少,仅有擂茶多糖提取工艺相关研究为擂茶产品开发提供了科学依据[4]。相比之下,擂茶的制作工艺及其文化相关研究较为丰富,其在食品行业的应用研发已取得一定进展。速溶擂茶粉[5]、擂茶饮料[6]等产品的问世,有效拓展了擂茶在日常生活中的应用场景。其中,擂茶饮料又可分为发酵型与非发酵型两类。然而,当前擂茶面临饮者数量日益减少、社会对擂茶文化重视程度不足、经济价值有待进一步挖掘等问题[7]。因此,开发擂茶味衍生食品,有助于提升擂茶的大众认知度与受欢迎程度,拓宽其发展前景。

黑凉粉由天然草本植物仙草(凉粉草)经先进工艺提炼制成。仙草又名仙人草,是富含仙草多糖(仙草胶)的药食两用植物,具备解暑清热、解毒、降血糖、降血脂等功效[8]。研究表明,仙草多糖具有降血糖活性,可开发为功能性食品或降血糖药物[9];同时,仙草还具有抗氧化[10]、抗糖基化、抗高血压、抗突变等活性,其保肝、保肾作用也具有研究价值。仙草胶拥有独特的凝胶促进特性与营养优势,目前其在加工食品中的应用主要局限于淀粉类食品;在食品凝胶配方的热加工过程中,可通过共混仙草胶设计新型复合凝胶,以改善凝胶特性。随着龟苓膏、凉粉等食品加工企业的快速发展,凉粉草的市场需求量持续增长,相关研究也不断深入。目前已有学者开展不同口味黑凉粉产品的研发,通过风味改良显著提升了食品的营养价值、改善了口感风味、增强了保健作用,为黑凉粉类健康食品的创新应用开辟了新路径。

综上,擂茶与黑凉粉在食品领域的应用与研究已具备扎实的理论基础,以擂茶为核心原料开展食品创新研究仍存在较大发展空间。本研究拟将粤北地区特有的咸味擂茶粉与黑凉粉相融合,并添加木糖醇调整口味,以最大限度保留擂茶特有的茶味及二者的营养成分。同时,通过分析擂茶黑凉粉冻的感官品质(如色泽、风味、口感)及质构特性(如硬度、弹性、胶粘性、咀嚼性等),确定适宜的产品配方。该研究

可进一步推动擂茶与黑凉粉的开发利用，提升二者的知名度，助力擂茶黑凉粉冻产品打开市场。

2. 实验材料与仪器

2.1. 材料与试剂

黑凉粉，广西威颜食品有限公司；擂茶粉，汕尾市海丰县杨强茶业加工厂；木糖醇，安徽蜀健药业有限公司；卡拉胶，上海鑫泰配料商城；纯净水，岭南师范学院纯净水厂。

2.2. 仪器与设备

实验所需仪器与设备如表 1 所示：

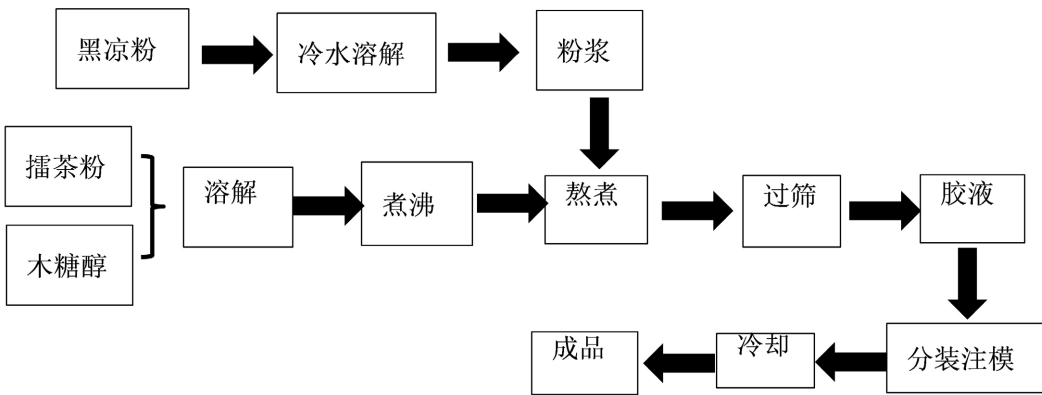
Table 1. Experimental instruments
表 1. 实验仪器

仪器名称	型号	生产厂家
电子天平	JE3002	上海浦春计量仪器有限公司
台式自动平衡离心机	DT5-ZB	北京时代北利离心机有限公司
食品质构仪	TMS-PRO	美国 FTC 公司
多功能电煮锅	食品级不粘锅	潮州市创梦居家科技有限公司
硅胶模具	食品级	阳江市至用硅胶制品有限公司
保鲜盒	食品级	鑫源(福建)塑胶有限公司
漏勺	食品级	潮州市好厨艺贸易有限公司

3. 实验方法

研究的实验方法主要包括工艺流程和操作要点，具体内容如下。

3.1. 工艺流程



3.2. 操作要点

- 1) 粉浆：准确称取一定量的黑凉粉于 100 mL 的烧杯中并加入 50 mL 纯净水，慢慢搅拌均匀直至没有明显颗粒的细腻糊状，将搅拌好后的黑凉粉糊放在室温条件稍微静置一会，让水和粉能够充分融合。
- 2) 茶溶、糖溶：准确称取一定量的擂茶粉和木糖醇于多功能电煮锅中，并加入一定量的纯净水搅拌

均匀直至二者溶解，通电煮沸。

3) 熬煮：将茶水和糖水煮沸后倒入搅拌均匀的黑凉粉糊，下锅之前要将黑凉粉糊再次搅匀，边倒入边搅拌，全部倒完之后，在熬煮过程中要不停搅拌以防粘锅糊底，直至将其再次煮沸，小火煮沸 2 min。

4) 过筛：为避免产品存在黑凉粉、擂茶粉溶颗粒浮渣，从而影响产品口感，需趁热将胶液混合物通过 60 目的漏勺倒入洁净的模具内，然后将得到的胶液放置在室温条件下自然冷却，最终得出产品。

4. 实验方式

4.1. 单因素实验

单因素实验确定黑凉粉的添加量、擂茶粉的添加量、木糖醇的添加量对擂茶黑凉粉冻的影响，具体如下。

4.1.1. 黑凉粉添加量对擂茶黑凉粉冻品质的影响

纯净水 50 mL，卡拉胶的添加量为 0.30%，木糖醇的添加量为 3.00%，擂茶粉的添加量为 0.40%，黑凉粉的添加量为 2.00%、2.50%、3.00%、3.50%、4.00%，将黑凉粉加入纯净水中慢慢搅拌均匀直至没有明显颗粒的细腻糊状，将煮沸好的茶水和糖水倒入搅拌均匀的黑凉粉糊，小火煮沸两分钟，趁热将胶液混合物通过 60 目的漏勺倒入模具内，将得到的胶液放置在室温条件下自然冷却，最终得出产品。

4.1.2. 擂茶粉添加量对擂茶黑凉粉冻品质的影响

纯净水 50 mL，卡拉胶的添加量为 0.30%，木糖醇的添加量为 3.00%，黑凉粉的添加量为 2.00%，擂茶粉的添加量为 0.40%、0.80%、1.20%、1.60%、2.00%，将黑凉粉加入纯净水中慢慢搅拌均匀直至没有明显颗粒的细腻糊状，将煮沸好的茶水和糖水倒入搅拌均匀的黑凉粉糊，小火煮沸两分钟，趁热将胶液混合物通过 60 目的漏勺倒入模具内，将得到的胶液放置在室温条件下自然冷却，最终得出产品。

4.1.3. 木糖醇添加量对擂茶黑凉粉冻品质的影响

纯净水 50 mL，卡拉胶的添加量为 0.30%，黑凉粉的添加量为 2.00%，擂茶粉的添加量为 0.40%，木糖醇的添加量为：3.00%、4.00%、5.00%、6.00%、7.00%，将黑凉粉加入纯净水中慢慢搅拌均匀直至没有明显颗粒的细腻糊状，将煮沸好的茶水和糖水倒入搅拌均匀的黑凉粉糊，小火煮沸两分钟，趁热将胶液混合物通过 60 目的漏勺倒入模具内，将得到的胶液放置在室温条件下自然冷却，最终得出产品。

4.2. 响应面实验

在单因素试验的基础之上，以 A 黑凉粉的添加量(%)、B 擂茶粉的添加量(%)、C 木糖醇的添加量(%) 三个因素为自变量，每个因素选取三个水平进行响应面实验，以感官评分作为评价指标，采用 Design-Expert 13 设计 3 因素 3 水平的响应面试验，得出产品擂茶黑凉粉冻的最优配方。响应面分析试验各因素水平见表 2。

Table 2. Design of factors and levels for response surface methodology optimization
表 2. 响应面法优化各因素和水平的设计

水平	因素		
	A	B	C
-1	2.5	0.4	6
0	3	0.8	5
1	3.5	1.2	7

4.3. 稳定性实验

通过响应面优化实验后，考虑到产品存在析水率问题，因此在最后配方后增加一组稳定性实验，即在最优配方基础上添加一系列梯度的卡拉胶(0, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%)制成成品，放置 24 h 后检测其析水率。通过对比添加不同卡拉胶的量对析水率、质构分析及感官评价的影响，从而确定产品的稳定性。

参考王文洁[11]测定析水率的方法，称取空离心管质量(m_0)，将制好的成品放进离心管中，称量成品 + 离心管的质量(m_1)，放置 24 h 后，在 5000 r/min 的条件下离心 15 min 后，除去析出的液体，称量析出水后的成品 + 离心管质量(m_2)，计算析水率。析水率计算公式：

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0}$$

4.4. 感官评定标准

4.4.1. 感官评分

本实验参照 SB/T 10021-2017 凝胶糖果感官评价要求及检验方法进行感官评定。选用 10 名味觉嗅觉灵敏、无色盲色弱、无嗅觉味觉疾病及特殊偏食习惯的人员组成评价小组，并在试验前对评价员开展标准样品辨识、评分细则及实操打分培训，统一评价尺度。通过感官描述的方法来评定，感官评定在标准感官实验室进行，控制室温 22℃~25℃、相对湿度 50%~60%，采光均匀、无异味噪音，各评价工位独立分隔。评价人员从色泽、气味、滋味、组织形态及口感五项指标进行综合打分，总分 100 分。表 3 为在黄锦琪等[12]的研究基础上稍作修改的感官评定表。

Table 3. Sensory scoring standards for Lei Cha black grass jelly
表 3. 擂茶黑凉粉冻感官评分标准

项目	特征描述	得分
色泽(20 分)	呈均匀深棕色至棕黑色，无肉眼可见外来异物	15~20
	呈浅棕色，无明显异物	8~14
	色泽不均一，颜色异常，异物多	0~7
组织形态(20 分)	整体成型好，表面光滑，气泡少，弹性适中，微析水	15~20
	整体成型一般，表面有气泡，弹性一般，少量水析出	8~14
	整体成型差，表面不平整，气泡多，弹性差，析水多	0~7
口感(30 分)	口感爽滑，细腻，无颗粒感，富有弹性	20~30
	口感爽滑，细腻，弹性一般，较软	10~19
	口感一般，有颗粒感，弹性较差	0~9
气味滋味(30 分)	清新爽口的凉草味、淡淡(咸)擂茶风味，咸甜适中	20~30
	口味清新的凉草味，浓郁的擂茶味，咸甜能勉强接受	10~19
	无凉草和擂茶风味，或擂茶味过重苦涩或过甜等	0~9

4.4.2. 质构分析

在试验中对擂茶黑凉粉冻的硬度、弹性、胶粘性、咀嚼性等质构参数进行测定，使用 TMS-PRO 型食品质构仪来进行测试，其测试的条件为：探头直径为 75 mm，长度为 35.0 mm 的通用型圆柱探头；模式：TPA，检测速度：60 mm/min；探头停留时间：1 s；压缩程度：50%；探头回升到样品表面上的高度：20

mm、起始力：0.05 N。然后将擂茶黑凉粉冻成正方体的形状，每组产品进行 3 次平行测定。

4.5. 数据处理

所有试验均设置不少于 3 次独立重复，以保证数据可靠性与可重复性。采用 Microsoft Excel 2019 进行原始数据录入、整理及描述性统计计算；使用 IBM SPSS Statistics 22 开展单因素/多因素方差分析 (ANOVA) 与显著性检验；运用 Origin 2018 (64 Bit) 绘制柱状图、折线图、误差棒图等可视化图表；基于 Design-Expert 13 完成响应面试验设计 (RSM)，并对试验结果进行显著性分析、方差分析、相关性分析及响应面/等高线图绘制。

5. 结果与分析

5.1. 单因素实验结果

5.1.1. 黑凉粉添加量对擂茶黑凉粉冻品质的影响分析

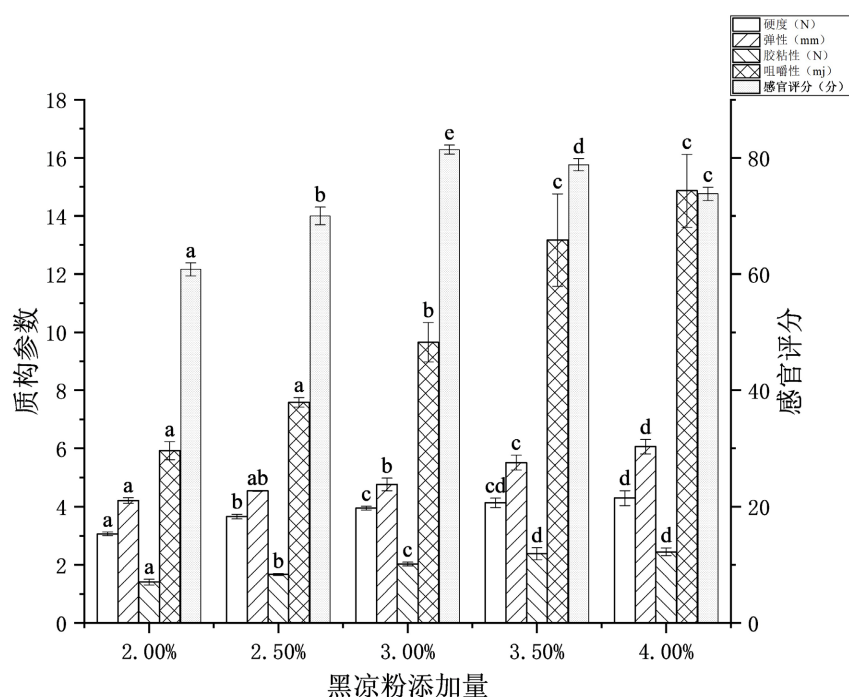


Figure 1. Effect of black grass jelly powder addition on the quality of Lei Cha black grass jelly
图 1. 黑凉粉添加量对擂茶黑凉粉冻品质的影响

如图 1 所示，当黑凉粉添加量为 2.00% 时，体系多糖偏少，与淀粉交联不充分，凝胶内部孔洞多、锁水差，成型慢、外观塌陷，硬度、咀嚼性等质构指标整体最低，成品易出水、口感软烂，各项质构与感官指标也处于最低水平。当添加量提升至 4.00% 时，过量多糖会造成凝胶过度交联，网络结构过于致密僵硬，虽硬度、胶粘性数值有所提升，但成品口感粗糙坚硬，丧失了凉粉顺滑软糯的食用特性，导致感官评分下降。而 3.00% 的添加比例可实现多糖与淀粉的最佳配伍，形成结构均匀、稳定性适中的凝胶，成品成型完整、口感细腻，兼顾了优良的物理质构与感官品质。

上述结果表明，黑凉粉凝胶成型及品质形成主要依靠凉粉草多糖与食用淀粉协同作用，淀粉经加热糊化释出分子，冷却老化后重新聚集，凉粉草多糖可通过氢键、疏水作用与淀粉交联构建致密锁水网状

结构,赋予产品独特质构,且多糖对淀粉凝胶存在双向作用,其含量越高淀粉交联越充分,凝胶结构也越稳定[13][14]。

综上,黑凉粉添加量存在适宜区间,用量低于2%会出现交联不足,高于2%则交联过度,均无法兼顾成型效果与食用口感,合适添加范围为2%~4%之间,其用量变化会直接改变体系内二者配比,进而影响凝胶网络成型质量,实际制作中需精准把控用量,后续可在此区间开展梯度试验,进一步确定最优添加比例。

5.1.2. 擂茶粉添加量对擂茶黑凉粉冻品质的影响分析

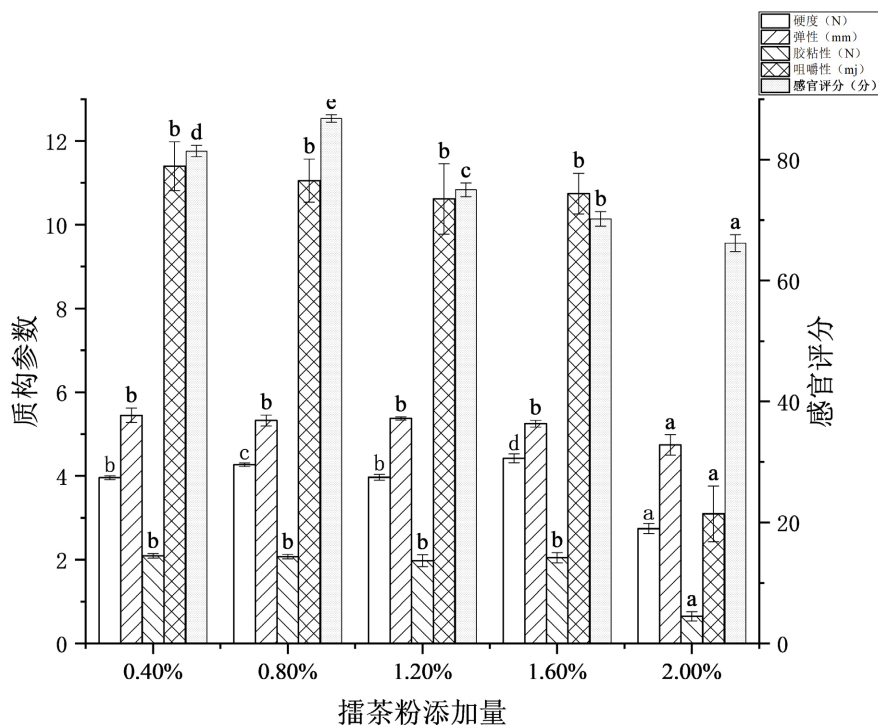


Figure 2. Effect of Lei Cha powder addition on the quality of Lei Cha black grass jelly
图2. 擂茶粉添加量对擂茶黑凉粉冻品质的影响

如图2所示,擂茶粉在低、中添加量下样品弹性、胶粘性、咀嚼性变化平缓,高添加量三项指标则显著下降,硬度小幅波动无统一规律。感官评分随擂茶粉添加量升高先升后降,添加量2.00%时质构与感官品质最差。0.40%~1.60%区间凝胶物性较为稳定,0.80%组成型完整、风味协调,综合品质最优,以此作为响应面试验中心值。

擂茶粉仅作为风味辅料,无法改变淀粉与仙草多糖依靠氢键交联成网的基础机理,仅以颗粒掺杂形式干扰凝胶网络。结合图2数据,低掺量时粉体均匀分散,不会阻隔多糖与淀粉结合,凝胶结构保持完整,弹性、咀嚼性等指标稳定。当擂茶粉添加量超过1.60%,大量固体颗粒填充网状孔隙,阻碍分子交联缠绕,致密骨架被打散,组织松散,弹性、咀嚼性大幅降低;硬度受凝胶交联程度影响较小,因此仅小幅起伏。风味方面,少量擂茶粉可赋予凉粉柔和独特风味,感官得分上升;但高添加量会富集茶多酚、涩味与咸味物质,苦涩厚重掩盖凉粉清甜,适口性骤降。0.80%添加量可平衡结构稳定性与风味,粉体分散均匀不破坏凝胶,咸甜适口无杂味。综合质构、成型状态与感官表现,该添加量适配后续响应面优化试验,能减少粉体干扰,精准探究各原料协同作用规律。

5.1.3. 木糖醇添加量对擂茶黑凉粉冻品质的影响分析

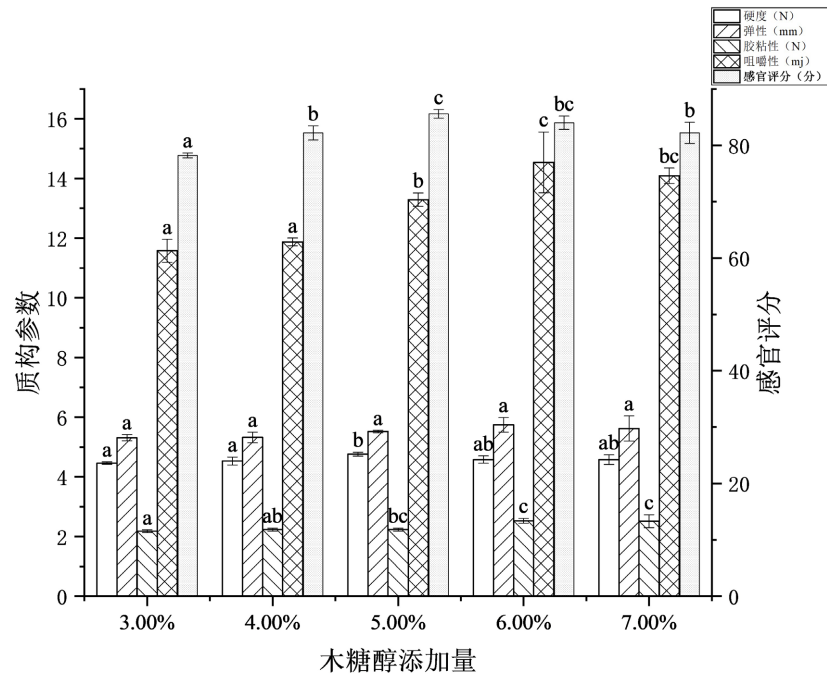


Figure 3. Effect of xylitol addition on the quality of Lei Cha black grass jelly
图 3. 木糖醇添加量对擂茶黑凉粉冻品质的影响

如图 3 所示，木糖醇添加量对凉粉各质构指标的影响并不统一。随着木糖醇添加量的不断增加，样品的硬度和咀嚼性先升高后降低，胶粘性则整体保持稳步上升的状态，弹性数值波动很小，基本保持稳定。相较于质构的小幅波动，产品感官评分的变化规律更为清晰，整体呈现先升后降的趋势，说明木糖醇的添加量存在适宜区间，过高或过低均会破坏产品整体品质。相关研究表明，木糖醇添加量与感官得分普遍呈单峰曲线关系，添加不足时风味平衡度差，添加过量则甜感突出掩盖原料本味，均会降低综合接受度，仅在中间适宜浓度下感官表现最优[15]，这种现象与本研究结果较为一致。

此外，风味失衡是木糖醇添加量影响产品品质的核心因素。添加量低于 5.00% 时，甜味不足，难以中和擂茶咸涩味，风味单一，感官评分偏低；添加量为 5.00% 时甜度适宜，可调和原生风味，产品质构与口感俱佳，综合品质最佳；用量继续增加则甜度过盛，掩盖擂茶本味，口感甜腻，品质下降。综合质构与感官评价结果，确定 5.00% 为木糖醇最优添加量，并以此为中心值进行后续响应面试验设计。

5.2. 响应面实验结果分析

5.2.1. 响应面结果

利用 Box-Behnken 模型的设计原理，以感官评分(Y)作为响应值，以黑凉粉添加量(A)、擂茶粉的添加量(B)、木糖醇的添加量(C)三个因素作为自变量，进行三因素三水平响应面优化试验设计，试验结果如表 4 所示。

根据响应面试验设计原理，对表 5 试验结果的数据进行多元回归拟合，得出各因素与响应值感官评分的回归方程：

$$Y = 87.18 - 0.3500A - 3.61B + 0.3875C - 2.58AB - 0.0250AC - 1.95BC - 4.64A^2 - 9.21B^2 - 4.54C^2$$

为了更好验证方程的有效性，对感官评分值(Y)进行方差分析，结果见表 5。

Table 4. Design scheme and results of response surface experiments**表 4.** 响应面试验设计方案及实验结果

试验号	A 黑凉粉添加量(%)	B 擂茶粉添加量(%)	C 木糖醇添加量(%)	感官评分(分)
1	1	0	-1	77.3
2	0	0	0	87.4
3	1	-1	0	78.9
4	0	0	0	87.0
5	-1	0	-1	76.3
6	0	1	1	68.0
7	0	0	0	86.6
8	0	-1	1	78.0
9	0	0	0	86.3
10	-1	1	0	72.9
11	-1	0	1	78.8
12	-1	-1	0	76.1
13	1	0	1	79.7
14	0	0	0	88.6
15	0	-1	-1	75.0
16	1	1	0	65.4
17	0	1	-1	72.8

Table 5. Analysis of variance (ANOVA) for sensory score response surface model**表 5.** 感官评分响应面模型方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	735.04	9	81.67	34.04	<0.0001	**
A	0.98	1	0.98	0.41	0.5431	
B	104.4	1	104.4	43.51	0.0003	**
C	1.20	1	1.20	0.50	0.5021	
AB	26.52	1	26.52	11.05	0.0127	*
AC	0.0025	1	0.0025	0.001	0.9752	
BC	15.21	1	15.21	6.34	0.0399	*
A ²	90.65	1	90.65	37.78	0.0005	**
B ²	357.54	1	357.54	149.02	<0.0001	**
C ²	85.83	1	85.83	35.77	0.0006	**
残差	16.80	7	2.40			
失拟差	13.59	3	4.53	5.65	0.0639	不显著
纯误差	3.21	4	0.802			
总离差	751.8	16				
R ²	0.978					
R ² _{adj}	0.949					

注：P < 0.05，表明差异具备显著性，用*表示；P < 0.01，表明差异极显著，用**表示。

由表 5 结果可得, 模型显著性 $P < 0.0001$, 呈极显著; 失拟项 $P = 0.0639$ 大于 0.05, 失拟不显著, 说明模型拟合效果良好, 能够用于擂茶黑凉粉冻制备工艺的预测。模型决定系数 $R^2 = 0.9777$, 校正决定系数 $R_{adj}^2 = 0.9489$, 实测值与预测值契合度高, 回归模型可信度强, 可开展因素交互分析与工艺优化。方差分析显示, 一次项 B (擂茶粉添加量)、二次项 A^2 、二次项 B^2 、二次项 C^2 对感官评分影响极显著($P < 0.01$), 交互项 AC、BC 影响显著($P < 0.05$), 其余项无显著差异。三种原料对感官评分的影响主次顺序为: 擂茶粉添加量 > 木糖醇添加量 > 黑凉粉添加量($B > C > A$)。

5.2.2. 各因素交互影响

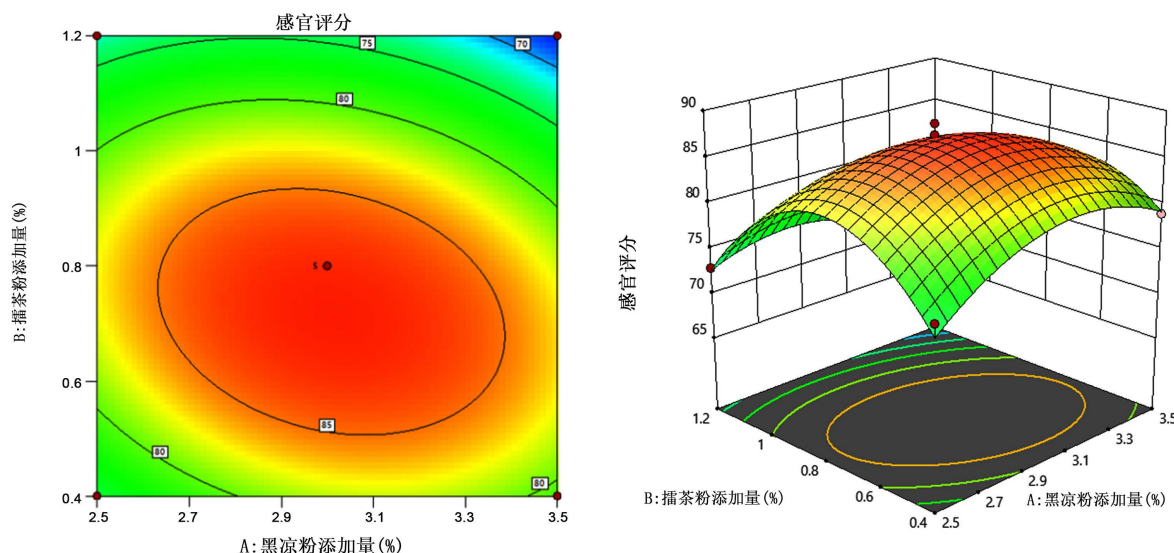


Figure 4. Contour and response surface plots for the interaction effects of black grass jelly powder and Lei Cha powder on sensory score
图 4. 黑凉粉与擂茶粉对感官评分交互影响的等高线图和响应面图

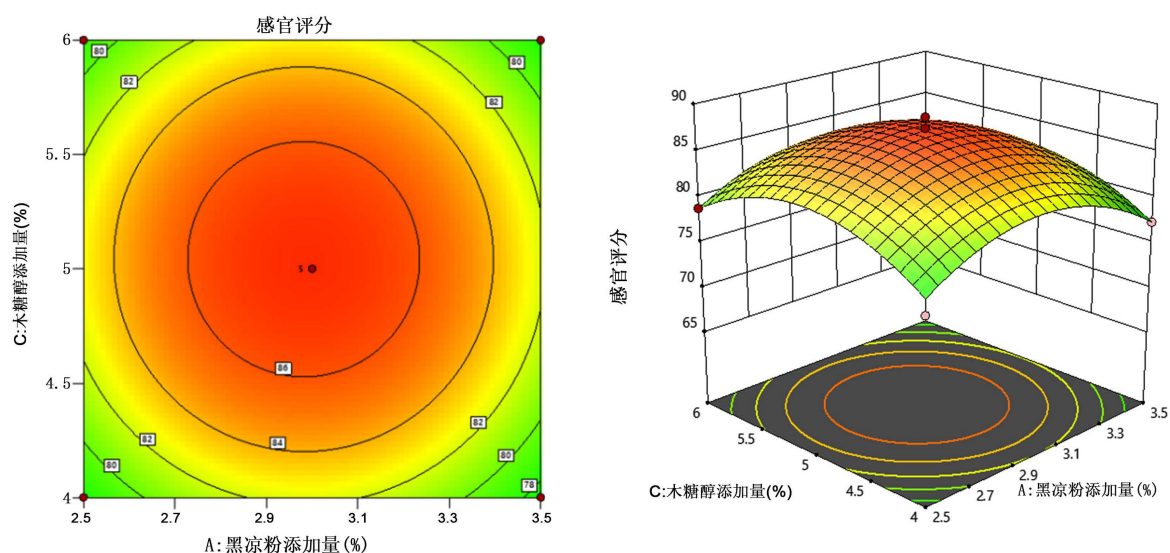


Figure 5. Contour and response surface plots for the interaction effects of black grass jelly powder and xylitol on sensory score
图 5. 黑凉粉与木糖醇对感官评分交互影响的等高线图和响应面图

响应等高线图与响应曲面图可直观反映各因素间的交互作用强度(图 4~6)。响应曲面曲线斜率越大,

表明两因素的交互作用越强；曲线走势越平缓，则说明两因素的交互作用越弱。等高线图呈椭圆形时，代表对应因素间的交互作用显著；等高线图呈圆形时，则说明因素间的交互作用不显著。由图 4 与图 6 可知，两组因素对应的等高线均趋近椭圆形，且响应曲面走势较陡峭，表明这两组因素两两之间存在强烈的交互作用，对擂茶黑凉粉冻的感官品质影响显著；而图 5 的等高线呈圆形，响应曲面平缓，说明对应因素间的交互作用较弱。上述图谱分析结果与表 5 的方差分析结论完全一致。

由图 4 可知，等高线为近椭圆形、响应面响应曲面倾斜的角度大，因而黑凉粉添加量与擂茶粉添加量之间交互作用对感官评价的影响大。

由图 5 可知，等高线呈圆形，响应曲面走势近乎平缓无明显倾斜，表明黑凉粉添加量与木糖醇添加量之间的交互作用对产品感官评分的影响微弱，几乎可忽略不计。

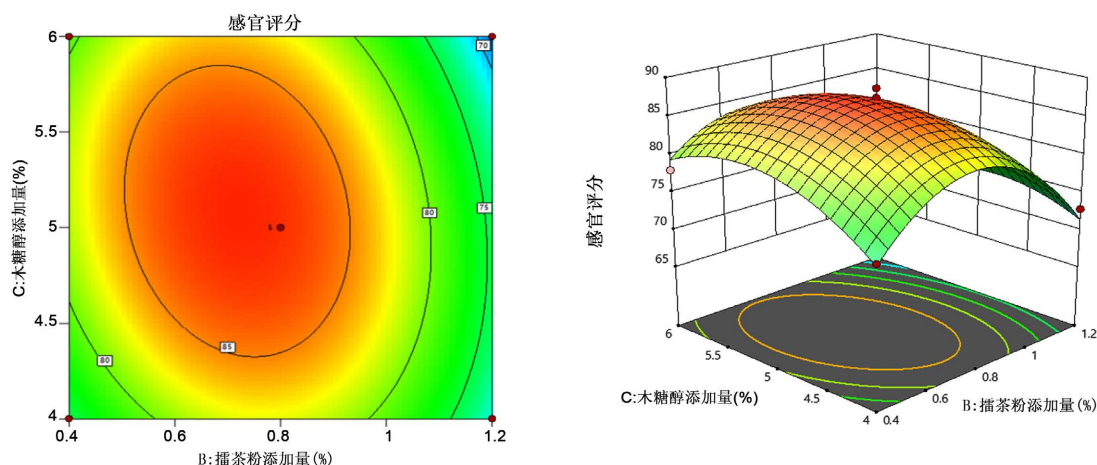


Figure 6. Contour and response surface plots for the interaction effects of Lei Cha powder and xylitol on sensory score
图 6. 擂茶粉与木糖醇对感官评分交互影响的等高线图和响应面图

由图 6 可知，其等高线呈近椭圆形，响应曲面倾斜幅度较大，表明擂茶粉添加量与黑凉粉添加量之间的交互作用对产品感官评分的影响显著。

5.2.3. 擂茶黑凉粉冻制备最佳工艺的确定及验证

经响应面多元二次回归方程求解，得到擂茶黑凉粉冻理论最优配方：黑凉粉 3.057%、擂茶粉 0.722%、木糖醇 5.070%，模型预测感官评分 86.49 分。兼顾到实际生产的实操可行性，将配方微调为黑凉粉 3.00%、擂茶粉 0.70%、木糖醇 5.00%。按修正的配方进行三组平行验证试验，实测感官评分均值为 87.60 分，与理论预测值相对误差仅 1.28%。试制成品口感软硬适中、质地均匀有弹性，风味咸甜适口，兼具凉粉草的清香与擂茶的醇厚口感，证实该回归模型对产品配方具备良好且可靠的预测效果。

5.3. 稳定性实验分析

卡拉胶对产品稳定性的影响如表 6 所示。

在凝胶类食品品质评价中，析水率是反映凝胶持水性与贮藏稳定性的关键指标，析水率越低，凝胶锁水效果越好、内部结构越稳定。基于该评价标准，本研究在确定擂茶黑凉粉最优基础配方后，探究了不同卡拉胶添加量对产品质构、感官风味及贮藏稳定性的影响。

表 6 结果表明，卡拉胶对凉粉品质的改良具有显著浓度依赖性：适量添加可优化凝胶品质、抑制析水，过量添加则会降低产品品质。结合多项指标综合判定，0.30%为卡拉胶最佳添加量，此条件下制备的凉粉结构规整、风味协调，贮藏稳定性显著优于未添加胶体的传统凉粉。

Table 6. Effects of carrageenan addition on product stability
表 6. 卡拉胶对产品稳定性的影响

卡拉胶添加量(%)	感官评分(分)	硬度(N)	弹性(mm)	胶粘性(N)	咀嚼性(mj)	析水率(%)
0.00	86.80 ± 0.26 ^a	4.082 ± 0.06 ^a	5.34 ± 0.22 ^a	2.173 ± 0.08 ^a	11.61 ± 0.73 ^a	10.96 ± 0.42 ^d
0.10	87.00 ± 0.53 ^a	4.460 ± 0.08 ^b	5.49 ± 0.11 ^a	2.299 ± 0.17 ^{ab}	12.62 ± 0.94 ^{ab}	9.08 ± 0.20 ^c
0.20	87.80 ± 0.40 ^b	5.740 ± 0.05 ^c	5.35 ± 0.14 ^a	2.520 ± 0.05 ^b	13.47 ± 0.16 ^b	6.29 ± 0.20 ^b
0.30	88.20 ± 0.44 ^b	5.975 ± 0.06 ^d	5.85 ± 0.25 ^b	2.928 ± 0.15 ^c	17.09 ± 0.56 ^c	4.39 ± 0.14 ^a
0.40	86.80 ± 0.17 ^a	6.696 ± 0.04 ^e	5.61 ± 0.14 ^{ab}	2.998 ± 0.14 ^c	16.82 ± 1.15 ^c	3.94 ± 0.34 ^a

注：同列数据后不同小写字母表示不同卡拉胶添加量间差异显著(P < 0.05)，相同字母表示差异不显著。

结合凝胶形成机理与现有研究可知，传统凉粉仅依靠淀粉与仙草多糖相互作用形成凝胶体系，形成的网状结构疏松多孔，锁水能力较差，这也是其常温放置 24 小时后析水率普遍高于 8%，易出现质地发软、结构塌陷等问题的核心原因[16]。此外，卡拉胶作为常用亲水胶体，能够借助氢键与体系中的淀粉、仙草多糖相结合，填充凝胶内部空隙，构筑紧实均匀的三维网状结构，显著增强凝胶强度与持水性能。因此，在合理添加范围内增加卡拉胶用量可逐步提升凉粉硬度、胶粘性等质构特性，降低析水率，不断优化产品品质。

但若卡拉胶添加量超过 0.30%，凝胶内部交联位点便会达到饱和，多余胶体无法参与网络结构构建，只能游离分布在凝胶缝隙中；同时，过度交联还会增大凝胶刚性、削弱韧性，造成凉粉弹性与咀嚼性变差，致使产品品质不再提升甚至出现下降。

本试验得出的变化规律，与亲水胶体改良淀粉凝胶的相关研究结果相符[17]，证实适量添加卡拉胶能够有效弥补传统擂茶黑凉粉冻结构松散、持水性不佳、稳定性弱等不足，全面提升产品整体品质。

6. 结论

本研究以黑凉粉、擂茶粉为主要原料，木糖醇为功能性甜味剂，通过单因素试验结合响应面试验，系统探究原料添加量对复合制品感官及质构特性的影响规律，最终确定产品最优基础配方为黑凉粉 3.00%、擂茶粉 0.70%、木糖醇 5.00%。基于该最优配方，试验证实添加 0.30%卡拉胶可有效改良产品内部凝胶结构，提升体系均匀性、致密性与贮藏稳定性，改善传统凉粉制品易分层、口感松散、稳定性不足的品质问题。此外，本研究制备的复合制品未添加人工色素、香精与防腐剂，最大程度保留了原料中的膳食纤维、多酚、黄酮等天然营养及活性成分，兼具优质食用品质与健康特性，贴合现代功能性绿色食品发展理念。

但本研究仍存在一定局限性：感官评价阶段未开展大众消费者群体调研，评价结果易受评审人员主观偏好干扰；试验仅单独探究卡拉胶的应用效果，未深入探究多种胶体复配使用的协同作用；仅完成产品短期稳定性测试，尚未厘清货架期内各项影响因素与活性成分流失变化规律，相关功能性层面的研究也有待进一步完善。后续研究可面向不同消费群体开展市场调研，结合大众口味偏好优化产品配方，进一步提升产品市场适配度；尝试搭配复合胶体与天然抑菌原料进行试验，优化产品贮藏性能，延长实际货架周期；持续追踪储存过程中活性成分的动态变化，深度挖掘产品自身营养特性与食用功能价值，力求为同类食品复合制品的标准化研制与规模化产业生产提供实用的技术支撑。

参考文献

[1] 廖紫依. 一碗擂茶连民心[J]. 福建支部生活, 2026(6): 40-41.

- [2] 熊佳, 文卫民. 基于中医养生理念的茶饮品牌包装设计探析[J]. 绿色包装, 2025(9): 181-185.
- [3] 黄庆斌, 黄其生, 马艳红. 闽北特色擂茶多糖提取工艺研究[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2023, 36(2): 38-41, 107.
- [4] 聂永昭, 郭文琼, 梁小金. 狗牯脑夏秋茶速溶茶粉生产工艺探究[J]. 广东蚕业, 2020, 54(12): 83-84.
- [5] 陈惠卿, 张月桂, 谢三都. 擂茶固体饮料制备工艺研究[J]. 农产品加工, 2023(15): 46-49.
- [6] 阳晖, 罗雪, 景园园, 等. 仙草胶-大豆蛋白植物基牛肉丸的制备及品质分析[J]. 食品科技, 2025, 50(7): 36-45.
- [7] 谭富耀. 灵芝固态发酵改性仙草渣中膳食纤维的理化特性及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2025.
- [8] Niu, G., You, G., Zhou, X., Fan, H. and Liu, X. (2023) Physicochemical Properties and *in Vitro* Hypoglycemic Activities of Hsian-Tsao Polysaccharide Fractions by Gradient Ethanol Precipitation Method. *International Journal of Biological Macromolecules*, **231**, Article ID: 123274. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123274>
- [9] 黄喆. 仙草降血糖活性成分的鉴定及靶向 α -葡萄糖苷酶与 PTP1B 的抑制机理研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2022.
- [10] 杨敏. 仙草多糖的抗氧化功能研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2002.
- [11] 王文洁. 凉粉草多糖的凝胶特性、形成机理及其对四氯化碳诱导的小鼠急性肝损伤的保护作用[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- [12] 黄锦琪, 江联, 温笑, 等. 红薯黑凉粉的配方优化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 133-139.
- [13] Ren, Y., Jiang, L., Wang, W., Xiao, Y., Liu, S., Luo, Y., *et al.* (2020) Effects of *Mesona chinensis* Benth Polysaccharide on Physicochemical and Rheological Properties of Sweet Potato Starch and Its Interactions. *Food Hydrocolloids*, **99**, Article ID: 105371. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105371>
- [14] 刘素臣. 基于凉粉草多糖-不同类型淀粉相互作用形成的凝胶特性及新型黑凉粉制品研发[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- [15] 于佳鑫, 厉欣颖, 吴涛. 海参多肽铁凝胶软糖的制备[J]. 农产品加工, 2026(9): 31-36.
- [16] 刘玮琳, 孔有余, 许贤康, 等. 脂质体水凝胶结构变化与形成机理[J]. 食品科学, 2019, 40(20): 81-86.
- [17] 丁陈辉, 任中阳, 石林凡, 等. 醋酸酯淀粉- κ -卡拉胶-结冷胶复配优化及其对冷冻虾滑理化性质的影响[J]. 食品科学, 2026, 47(13): 120-127.