景小苗, 刘宁, 南锦, 等. 油凝胶全替代型预拌粉对冰淇淋的品质提升研究 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(15): 153−159. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025070319

JING Xiaomiao, LIU Ning, NAN Jin, et al. Improvement of Ice Cream Quality by Oleogel Full-replacement Premix Powder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(15): 153−159. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025070319

· 研究与探讨 ·

油凝胶全替代型预拌粉对冰淇淋的品质提升研究

景小苗[1], 刘　宁[1,*], 南　锦[1], 李　珊[2], 鄢　檬[1], 姚晓琳[1]

（1.陕西科技大学食品科学与工程学院, 陕西西安 710021;
2.西安爱菊粮油工业集团有限公司, 陕西西安 710016）

摘　要: 为获得健康低脂的冰淇淋制品，采用中链甘油三酯（MCT）油凝胶全替代氢化棕榈仁油（HPKO），制备蜂蜡油凝胶基冰淇淋预拌粉（BW-P），考察其粉末性质及对冰淇淋品质特性的提升效果。结果表明，相较于商用预拌粉（C-P），BW-P 和 HPKO 基冰淇淋预拌粉（HPKO-P）水分含量更高，流动性与溶解性较低。扫描电镜观察发现，BW-P 和 HPKO-P 均呈球形。经复溶后，HPKO-P 和 BW-P 乳液粒径主要分布于 1~10 μm，而 C-P 乳液粒径较大（10~100 μm）。微流变学测定显示，BW-P 复溶乳液的去相关时间较长，脂肪网络致密，与 C-P 相近。BW-P 冰淇淋的膨胀率较低（45.3%），硬度较高（15.1 kPa），其外观色泽均匀、形状完整。该样品融化速率较慢，略有油腻感，其口腔摩擦学特性及电子舌评分与 C-P 接近，具备替代 HPKO 制备冰淇淋预拌粉的良好潜力。

关键词: 油凝胶, 预拌粉, 冰淇淋, 微流变学, 口腔摩擦学, 电子舌

中图分类号: TS201.1　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)15−0153−07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025070319

本文网刊:

Improvement of Ice Cream Quality by Oleogel Full-replacement Premix Powder

JING Xiaomiao[1], LIU Ning[1,*], NAN Jin[1], LI Shan[2], YAN Meng[1], YAO Xiaolin[1]

（1.School of Food Science and Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China;
2.Xi'an Aiju Grain and Oil Industrial Group Co., Ltd., Xi'an 710016, China）

Abstract: To obtain healthy and low-fat ice cream products, beeswax oleogel-based ice cream premix (BW-P) was prepared by fully replacing hydrogenated palm kernel oil (HPKO) with medium-chain triglyceride (MCT) oleogel. The powder properties and the enhancing effect on ice cream quality characteristics were investigated. The results showed that compared with commercial premix (C-P), both BW-P and HPKO-based ice cream premix (HPKO-P) had higher moisture content, lower fluidity and solubility. Scanning electron microscopy observation revealed that both BW-P and HPKO-P exhibited a spherical morphology. After reconstitution, the emulsion particle sizes of HPKO-P and BW-P were mainly in the range of 1~10 μm, while that of C-P was larger (10~100 μm). Microrheological measurements indicated that the reconstituted emulsion of BW-P had a longer decorrelation time and a dense fat network, which was similar to C-P. The BW-P ice cream showed a lower overrun (45.3%) and higher hardness (15.1 kPa), with uniform appearance color and intact shape. This sample had a slow melting rate and a slight greasy feeling, and its oral tribological properties and electronic tongue scores were close to those of C-P, exhibiting good potential to replace HPKO in the preparation of ice cream premix powder.

Key words: oleogel; premix powder; ice cream; microrheology; oral tribology; electronic tongue

收稿日期: 2025−04−14

基金项目: 国家自然科学基金项目（32272475）; 陕西省重点研发计划项目（2024NC-YBXM-177）; 陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍建设项目（2024QCY-KXJ-082）; 陕西省教育厅服务地方专项项目（23JC009）; 西安市科技计划项目（24NYGG0056）。

作者简介: 景小苗（2000−）, 女, 硕士研究生, 研究方向: 粮油食品加工, E-mail: 240411015@sust.edu.cn。

*** 通信作者:** 刘宁（1984−）, 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品胶体功能化, E-mail: liuning@sust.edu.cn。

冰淇淋凭借细腻的口感与独特的风味风靡全球,但传统冰淇淋往往含较多的饱和脂肪甚至一定量反式脂肪酸,不适合高脂血症、脂肪肝、糖尿病等亚健康人群食用。冰淇淋的形成与稳定涉及复杂的物理化学过程,其乳液需经过杀菌、均质、老化等步骤处理,而在储运过程中,由于对低温条件的严格要求,物流成本被大幅增加[1]。冰淇淋预拌粉是通过喷雾干燥或冷冻干燥等技术,将乳液转化为干燥的粉末形态,不仅能保证产品的干燥性与稳定性,实现常温下的有效储存,还显著提升了物流运输的便捷性与经济性[2]。

油凝胶通过少量的凝胶剂实现液态油的固化,而不改变其脂肪酸组成,该技术依托亲脂性液体(主要是植物源油脂)与微量凝胶剂的复合作用,形成具有热可逆性的半固态脂质混合物,从而呈现显著的粘弹特性。作为固体脂肪的替代品,油凝胶已被广泛用于食品领域[3−4]。相关研究发现,利用蜂蜡油凝胶(BW)替代冰淇淋中的氢化棕榈仁油(HPKO),能够模拟出冰淇淋应有的质地和口感[5]。目前,国内关于冰淇淋预拌粉研究相对较少,现有报道主要集中在粉末制备方法及参数优化方面[6]。本研究以油凝胶全替代 HPKO 制备了冰淇淋乳液,采用喷雾干燥法将其加工成预拌粉,通过扫描电镜、口腔摩擦学、电子舌等手段,对比蜂蜡油凝胶基冰淇淋预拌粉(BW-P)、HPKO 基冰淇淋预拌粉(HPKO-P)以及商用冰淇淋预拌粉(C-P)的粉末性质及其所制冰淇淋的品质特性差异,以期为油凝胶在冰淇淋预拌粉中的应用提供技术依据与理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

蜂蜡(BW) 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;中链甘油三酯(MCT) 广州永晟工贸有限公司;氢化棕榈仁油 BL-39 上海益海嘉里食品科技有限公司;脱脂奶粉 新西兰恒天然集团;瓜尔豆胶 上海源叶生物科技有限公司;麦芽糊精 无锡超科食品有限公司;蔗糖酯 S370 日本三菱化工有限公司;蔗糖 河北昊德盟农副产品有限公司;商用冰淇淋预拌粉(配料为白砂糖、植脂末、葡萄糖、全脂乳粉、食用盐、羧甲基纤维素钠、黄原胶、单/双甘油脂肪酸酯、食用香精等) 安徽汉钦健康产业有限公司。

LE204E 分析天平 奥豪斯仪器设备有限公司;DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器 河南省巩义市予华仪器有限责任公司;T25 高速剪切分散机 艾卡(广州)仪器设备有限公司;AH-2010 高压均质机 加拿大 ATS 工程公司;YM-6000Y 喷雾干燥机 上海豫明仪器有限公司;IC6308C 冰淇淋机 佛山柏翠电器有限公司;H1850R 高速台式冷冻离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;DHG-9035A 电热鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;Phenom Pharos G2 电子扫描显微镜 上海复纳科学仪器有限公司;Mastersizer 2000 激光粒度分析仪 英国 Malvern 公司;Rheolaser Master 扩散波光谱仪 法国 Formulaction 公司;TA-XT Plus 物性分析仪 英国 SMS 公司;HAAKE 旋转流变仪 德国 Thermo Scientific 公司;Super Tongue 电子舌 法国 ISENSO 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蜂蜡油凝胶的制备 以 MCT 为基料油,采用直接法制备 BW 油凝胶。称取一定量的 BW 加入 MCT 中(BW 占比为 MCT 质量的 7%),于 80 ℃ 恒温加热搅拌至 BW 完全溶解。将样品在 20 ℃ 静置 24 h,可在翻转状态下保持形状不流动,即视为凝胶制备成功。

1.2.2 预拌粉及粉末冰淇淋的制备 参考 Liu 等[5]的方法。将 10% 脂肪(HPKO 或 BW 油凝胶)、0.3% 蔗糖酯、0.25% 瓜尔豆胶、0.2% 麦芽糊精、4% 脱脂奶粉、10% 蔗糖及 75.25% 饮用水作为冰淇淋预拌粉的配方(各组分质量分数为在乳液总质量中的占比)。除脂肪外,将其他组分的干粉混合后加入 60 ℃ 水中,使用高速剪切分散机在 700 r/min 搅拌下混匀,加入脂肪,持续搅拌 30 min 制备冰淇淋粗乳液。乳液经两次高压均质(200 bar/100 bar)后,通入喷雾干燥机,收集得到预拌粉于 4 ℃ 保存。喷雾干燥的参数为:进、出风温度分别设定为 180 ℃ 和 80 ℃,进料量 50 mL/h。将不同预拌粉 C-P、HPKO-P、BW-P 分别以 1∶3 比例(w/v)溶于常温饮用水中,搅拌溶解后于 4 ℃ 静置 1 h,再倒入冰淇淋机中冷冻搅打 30 min,可获得粉末冰淇淋产品。

1.2.3 粉末水分含量 参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》对预拌粉的水分含量进行测定。

1.2.4 粉末流动性和粘聚性 参考 Korma 等[7]的方法测定粉末的流动性、粘聚性。将 2.5 g 粉末从 15 cm 高度轻落入 10 mL 量筒中,记录体积 A,计算堆积密度(BD);轻敲量筒上部,记录此时体积 B,并计算紧实密度(TD)。

$$BD(g/cm^3)=\frac{样品质量(g)}{样品体积A(cm^3)}$$

$$TD(g/cm^3)=\frac{样品质量(g)}{样品体积B(cm^3)}$$

根据 BD 和 TD 计算粉末的卡尔指数(CI)和粘聚性(HR):

$$CI(\%)=\frac{TD-BD}{TD}\times 100$$

$$HR=\frac{TD}{BD}$$

1.2.5 粉末溶解性 参考 Korma 等[7]的方法测定粉末的溶解性。将 1 g 粉末溶于 100 mL 去离子水中,室温搅拌 30 min,采用 3000×g 转速于 4 ℃ 离心

5 min。取 25 mL 上清液在 105 ℃下干燥至恒重，计算粉末的溶解度：

$$溶解度(\%) = \frac{4m}{m_0} \times 100$$

式中，m 表示上清液干燥至恒重后的固体质量，g；m_0 表示初始称取冰淇淋预拌粉质量，g。

1.2.6　粉末微观结构　采用扫描电镜（SEM）观察粉末的形态和微观结构。将微量粉末颗粒固定在导电胶上，经 60 s 喷金后，在加速器电压为 10.0 kV 的高真空中观察。

1.2.7　复溶乳液粒径分布　将不同预拌粉以 1∶3 的比例（w/v）与常温饮用水混合均匀制备复溶乳液，用激光粒度分析仪测量乳液的粒径分布，以去离子水为分散介质。连续相和分散相的折射率分别为 1.33 和 1.47。遮蔽度范围为 10%~20%[8]。在测量之前，所有乳液都用水或 2% 十二烷基硫酸钠（SDS）稀释 100 倍。

1.2.8　复溶乳液微流变特性　采用扩散波光谱仪对冰淇淋乳液的微观流变特性进行分析[9]。通过检测布朗运动确定样品的粘弹性结构，用液滴随时间的均方位移（MSD）进行评价。利用 RheoSoft Master 14.0 程序确定样品的宏观粘度（MVI）。

1.2.9　冰淇淋质构特性

1.2.9.1　膨胀率　分别测定同体积的搅打前老化乳液和搅打后冰淇淋的质量，通过公式进行计算膨胀率：

$$膨胀率(\%) = \frac{m_0 - m}{m} \times 100$$

式中，m_0 表示一定体积的老化乳液质量，g；m 表示同体积的冰淇淋质量，g。

1.2.9.2　硬度和融化行为　用物性分析仪和直径为 36 mm 的圆柱形探头（P/36R）测量粉末冰淇淋的硬度。探头以 2 mm/s 的速度穿插样品至 20 mm 深度，触发值为 5.0 g。参考 Jiang 等[10] 的方法观察粉末冰淇淋的融化行为，使用孔径为 10 mm×10 mm 的不锈钢丝网过滤器，在室温下融化冰淇淋，拍摄融化过程图片。

1.2.10　冰淇淋摩擦学性质　采用流变仪集成的聚二甲基硅氧烷（PDMS）球和板组装的三球板装置，测量粉末冰淇淋的口腔摩擦学性能[11]。将 0.6 g 样品置入测量池中，对 10 min 内卷吸速度在 0.1~300 mm/s 范围内的摩擦系数进行测量。施加 1 N 的恒定法向力，温度设置为 25 ℃。

1.2.11　冰淇淋电子舌测定　采用电子舌测量冰淇淋的味道[12]。将 20 g 冰淇淋样品稀释 2 倍，放入电子舌专用测试杯中进行味觉检测和数据采集。每个样本的采集时间和清洗时间分别为 120 s 和 10 s。

1.2.12　冰淇淋感官评价　参考国标 GB/T 31114-2014《冷冻饮品 冰淇淋》，选择 30 名小组成员（男生 15 名，女生 15 名，年龄范围：22~40 岁）经感官培训后对冰淇淋色泽、形态、组织、滋味气味和杂质 5 个方面进行评估（每项 20 分，总分 100 分）。

1.3　数据处理

所有实验重复进行三次以上，结果以平均值±标准差（SD）表示。数据统计分析采用 SPSS 26.0，利用 ANOVA 进行检验，并用邓肯检验来确定均值差异性（显著性水平 $P<0.05$）。对实验样本电子舌数据进行主成分分析（PCA）。

2　结果与分析

2.1　冰淇淋预拌粉的物理特性

如表 1 所示，商用预拌粉 C-P 的水分含量 2.33 g/100 g；HPKO-P 为 4.34 g/100 g，高于 C-P，而 BW-P 的水分含量为 3.32 g/100 g，与 C-P 无显著性差异（$P>0.05$）。实验所制粉末的水分含量均低于 5 g/100 g，可认为是喷雾干燥粉末的理想特性[13]。粉末的流动性可以通过 BD、TD、CI 等来评价。HPKO-P、BW-P、C-P 的 BD 分别为 0.34、0.36 和 0.57 g/cm^3，TD 分别为 0.53、0.49 和 0.67 g/cm^3。HPKO-P 和 BW-P 的 BD 和 TD 无显著差异（$P>0.05$）。更高的 HR 和 CI 表示粉末的凝聚力更强，自由流动能力更差[14]。HPKO-P、BW-P 以及 C-P 的 HR 值分别为 1.58、1.36 和 1.18，CI 值分别为 36.74%、26.68% 和 15.08%。不同样品的流动性能呈现显著差异（$P<0.05$）。HPKO-P 比 BW-P 表现出更低的流动性和更高的粘结性，表明颗粒间存在更大的摩擦力。室温下 C-P 呈现较高的溶解度（83.33%），HPKO-P、BW-P 的溶解度分别为 72.67% 和 68.30%，可能是因为自制粉末表面含有疏水油，增加了粉末表面的疏水性，限制其在水中扩散。下一步可对乳液配方和喷雾干燥工艺进行优化，以提升自制冰淇淋粉末的溶解性。

表 1　不同冰淇淋预拌粉的物理特性

Table 1　Physical properties of different ice cream premix powders

物理特性	C-P	HPKO-P	BW-P
水分含量（g/100 g）	2.33±0.58^b	4.34±0.66^a	3.32±0.59^b
BD（g/cm^3）	0.57±0.02^a	0.34±0.03^b	0.36±0.03^b
TD（g/cm^3）	0.67±0.03^a	0.53±0.04^b	0.49±0.05^b
CI（%）	15.08±1.38^c	36.74±0.66^a	26.68±1.48^b
HR	1.18±0.02^c	1.58±0.02^a	1.36±0.03^b
溶解性（%）	83.33±1.16^a	72.67±0.58^b	68.30±1.53^c

注：同一行内不同字母表示差异显著，$P<0.05$，表2同。

2.2　冰淇淋预拌粉的微观结构

冰淇淋预拌粉的 SEM 图像如图 1 所示。C-P 呈无规则形状，尺寸差异大，表面较为粗糙。HPKO-P 和 BW-P 外观呈球状，表面光滑，这可能是加入的麦芽糊精在喷雾干燥过程中形成了硬壳结构[15]。Qu 等[16] 在喷雾干燥制备酪蛋白酸钠和麦芽

糊精组成的无水乳脂粉中也发现了颗粒表面的皱纹或疤痕。在 HPKO-P 和 BW-P 表面均观察到一些气孔的存在，这是在干燥最后阶段，由于壁材收缩不均匀而造成的。HPKO-P 和 BW-P 存在水分或油迁移，可能因为粉末颗粒表面存在气孔，从而使粉末发生粘聚[17]。整体来看，自制冰淇淋预拌粉与 C-P 的微观结构差异较大，这可能是因为产品配方和干燥方式均存在一定差异。

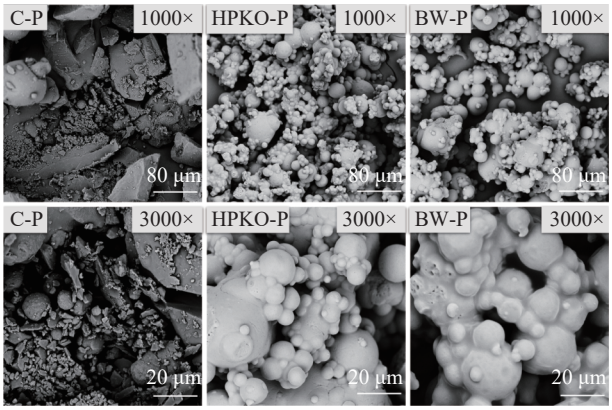


图 1　不同冰淇淋预拌粉的扫描电镜图

Fig.1　SEM images of different ice cream premix powders

2.3　复溶冰淇淋乳液的粒径分布

粒径分布显著影响食品的质地和感官特性[18]。如图 2 所示，所有复溶乳液呈现明显的双峰分布，表明复溶乳液液滴尺寸分布不均匀。HPKO-P 和 BW-P 复溶乳液粒径分布主要为 1~10 μm，少量聚集液滴在 10~100 μm；而 C-P 复溶乳液粒径大多分布在 10~100 μm。这可能是因为 BW-P 和 HPKO-P 配料简单，乳液高压均质和喷雾干燥效果较好，更易形成细小液滴的乳液体系；C-P 配料中所含成分较复杂，如植脂末、全脂乳粉、羧甲基纤维素钠、黄原胶等，预拌粉溶解后倾向于形成稍大尺寸液滴的乳液。根据 Fang 等[19] 的研究，微胶囊产品粒度（1~100 μm）可满足喷雾干燥食品粉末的要求。

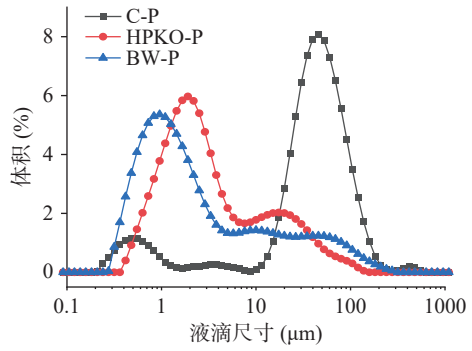


图 2　不同冰淇淋预拌粉复溶乳液的粒径分布

Fig.2　Particle size distribution of reconstituted emulsions from different ice cream premix powders

2.4　复溶冰淇淋乳液的微流变特性

图 3A~图 3C 显示了冰淇淋粉末复溶乳液中液滴随时间变化的 MSD 曲线。通常情况下，乳液 MSD 曲线呈线性，表明粒子运动较快，乳液流动性较强[20]；其平台区若不明显，表明凝胶网络较疏松。可以发现，BW-P 复溶乳液比 HPKO-P 乳液的斜率更小，说明 BW 油凝胶在体系中形成的脂肪网络更致密。HPKO-P 复溶乳液的去相关时间较短；而 BW-P 复溶乳液的去相关时间较长，且与 C-P 复溶乳状液相近，这可能是乳液粘度的增加或脂肪网络对液滴运动的束缚力增强所导致的。图 3D 为复溶乳液的

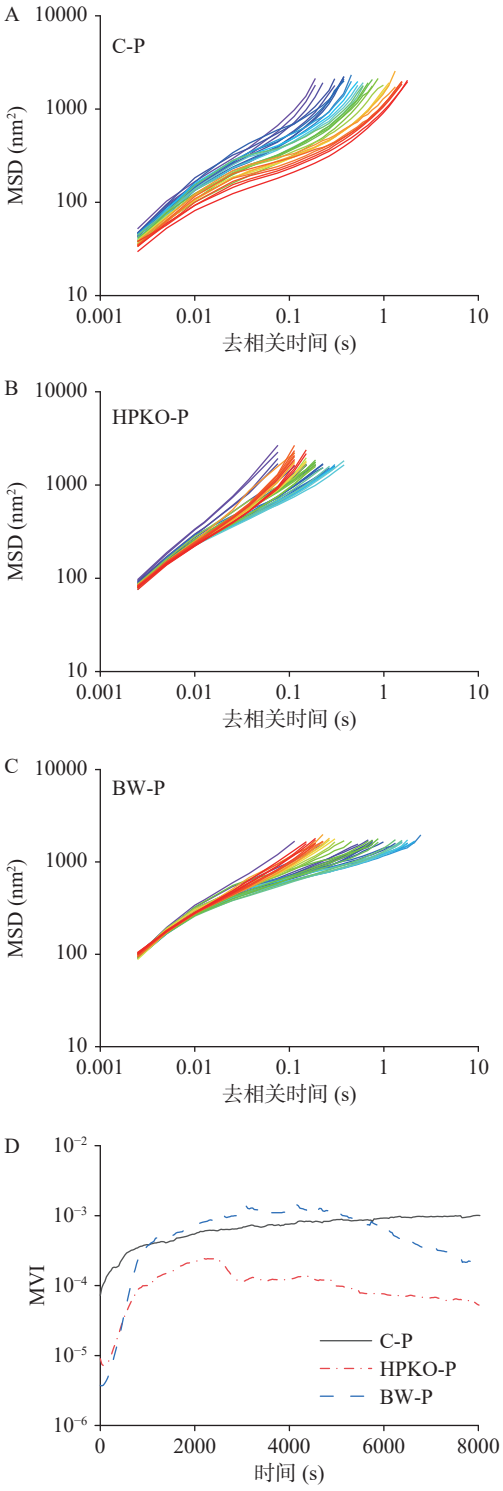


图 3　不同冰淇淋预拌粉复溶乳液的微流变曲线

Fig.3　Microrheological curves of reconstituted emulsions from different ice cream premix powders

MVI 曲线。相同时间下，MVI 值越高，表明体系粘度越大。C-P 复溶乳液在测定初期粘度最大，MVI 曲线达到平衡的时间较短，约 13 min。BW-P 和 HPKO-P 复溶乳液的 MVI 曲线约 50 min 后趋于相对平缓，但后期曲线呈下降趋势，表明乳液粘度减小，这可能是测定时间较长，乳液中发生了局部失稳[21]，乳液储存稳定性较 C-P 更低。

2.5　冰淇淋质构特性

图 4A~图 4B 显示了粉末冰淇淋的膨胀率和硬度。C-P 冰淇淋膨胀率最高，BW-P 冰淇淋膨胀率较低(45.3%)。一般来说，脂肪含量、总固形物含量、甜味剂、稳定剂及加工工艺等因素均会影响冰淇淋膨胀率[22]。此外，可以发现，BW-P 和 HPKO-P 冰淇淋的硬度相对较高，这可能是自制冰淇淋乳液中加入的麦芽糊精具备良好亲水性，通过与自由水的结合降低了体系的水分活度，从而提升了冰淇淋的硬度[23]。3 个样品中，BW-P 冰淇淋的硬度最高(15.1 kPa)，可能因为该样品中含有蜂蜡结晶，脂肪网络更致密，在搅打过程中发生部分聚结的液滴更多，从而提高了冰淇淋硬度[24]。

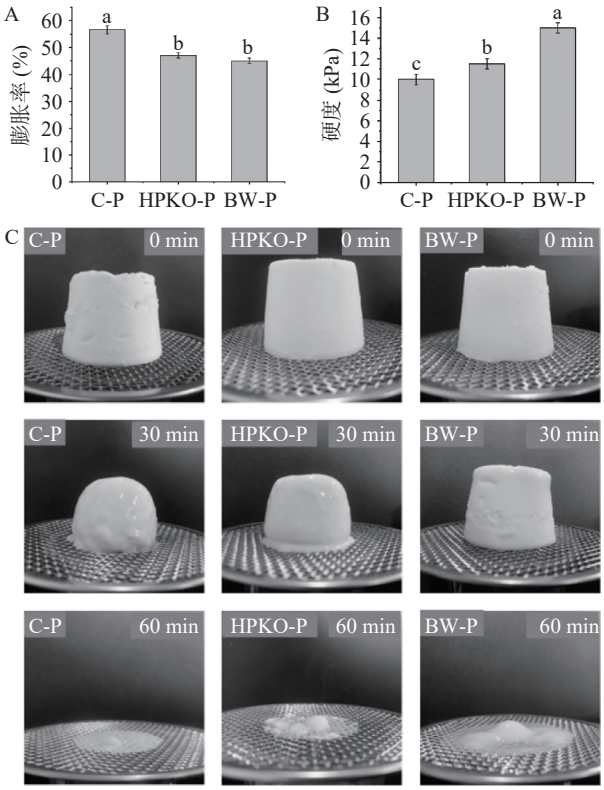


图 4　不同粉末冰淇淋的质构特性

Fig.4　Texture properties of different powdered ice creams

冰淇淋的融化行为显著影响产品的口感和稳定性，常受配方组分、冷冻方式和储存条件等影响[2]。从图 4C 可知，各样品置于室温 30 min 后均开始融化，但融化速率存在一定差异。60 min 后，C-P 冰淇淋已经全部融化，其融化速率最快；HPKO-P 和 BW-P 冰淇淋融化相对较慢，60 min 后仍有少量残留，这可能是体系中氢化油或蜂蜡的存在，延缓了冰淇淋在室温下的融化过程[25]。

2.6　冰淇淋摩擦学性质

实验测量了冰淇淋熔融样品的摩擦学性能，结果如图 5 所示。BW-P 和 C-P 样品的摩擦系数曲线相似，随着卷吸速度的增加，摩擦系数减小。整体来看，BW-P 样品中发现了较低的摩擦系数，油凝胶的加入有利于更多液滴在接触区吸附，可能归因于液态脂肪良好的润滑能力[26]。BW-P 和 C-P 样品促进了液滴润滑口腔摩擦表面，降低了摩擦力，从而提供了更流畅的口腔感觉[27]。随着卷吸速度的增加，HPKO-P 样品摩擦系数在约 0.20 μ 处达到拐点，可能是因为，测定初期较少的液滴进入接触区，只形成了一层薄的润滑膜，导致摩擦系数逐渐增加[28]；在较高的卷吸速度下，乳滴的结构被破坏，从而引起内部水和油相的泄漏，致使摩擦系数下降[29]。总的来说，BW-P 冰淇淋的摩擦系数较低，表明其在低咀嚼程度时的摩擦情景有更柔滑的感觉，具备模拟 C-P 冰淇淋的口腔摩擦学特性的能力。

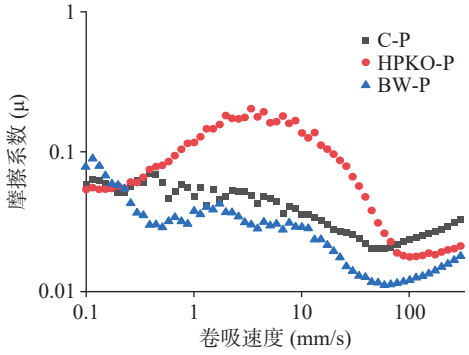


图 5　不同粉末冰淇淋的口腔摩擦学特性

Fig.5　Oral tribological properties of different powdered ice creams

2.7　冰淇淋感官品质

通过电子舌评分的雷达图(图 6A)发现，HPKO-P 和 BW-P 样品导致冰淇淋模型的苦味和鲜味发生变化。喷雾干燥过程中，因高温导致美拉德反应，蛋白可能产生较多的苦味氨基酸，影响系统的风味。Liu 等[30] 研究发现，超过 120 ℃ 热处理致使木糖与鸡肉肽的美拉德反应产物中缬氨酸等苦味氨基酸含量显著提高。C-P 配料中含有更丰富的甜味剂(白砂糖、葡萄糖)和食品添加剂(食用香精)，其甜度、酸度和其他味道成分较为平衡协调，获得愉悦的味觉体验[31]。BW-P 冰淇淋模型中的大部分口感评分均较接近 C-P 样品，一定程度上表明该冰淇淋的口感与 C-P 冰淇淋具有一致性。如图 6B 所示，两个主成分分析的总和为 94.2%，包含了原始指标的大部分贡献率，电子舌的测定结果可以用于冰淇淋模型系统的口感差异分析。C-P 冰淇淋与 BW-P 冰淇淋模型体系在横坐标上更接近，说明 PC1 具有较高相似性。

由表 2 可知，HPKO-P 和 BW-P 冰淇淋呈现均

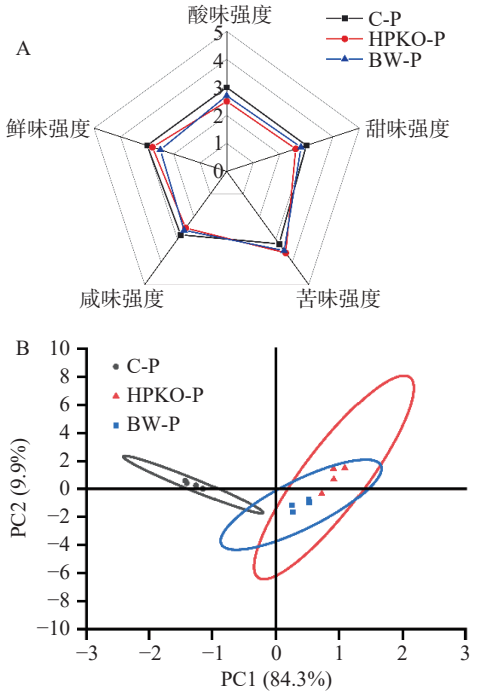


图 6　不同粉末冰淇淋的品质评价

Fig.6　Quality evaluation of different powdered ice creams

匀一致的色泽，形态完整，滋味纯正。C-P 冰淇淋大部分指标评分较高，其整体最符合消费者的口味。与 C-P 冰淇淋相比，HPKO-P 样品入口后存在较低的颗粒感，些许气孔导致表面呈现粗糙的组织感官。BW-P 冰淇淋融化后留有一些油腻感，可能是油凝胶中含有少量的液态油迁移。总体来看，BW-P 冰淇淋的可接受度高于 HPKO-P 冰淇淋，其感官特性接近 C-P 冰淇淋（P<0.05）。

表 2　不同粉末冰淇淋的感官评分

Table 2　Sensory scores of different powdered ice creams

感官评分	C-P	HPKO-P	BW-P
色泽	17.37±0.51^{a}	17.70±0.14^{a}	17.82±0.21^{a}
形态	17.20±0.68^{a}	18.53±0.43^{a}	17.81±0.20^{a}
组织	16.83±0.33^{a}	16.08±0.60^{a}	16.54±0.33^{a}
滋味气味	17.75±0.26^{a}	12.43±0.30^{c}	16.10±0.30^{b}
杂质	18.60±0.80^{a}	17.75±0.60^{a}	17.98±0.72^{a}
总分	87.75±1.76^{a}	82.50±1.25^{b}	85.86±0.69^{a}

3　结论

本研究制备了油凝胶基冰淇淋预拌粉，系统评价了其粉末性质、复溶乳液特性、冰淇淋质构特性和感官品质等。结果发现，HPKO-P、BW-P 的水分含量高于 C-P，流动性和溶解性更低。经扫描电镜观察，HPKO-P 和 BW-P 呈球状，C-P 为无规则状。HPKO-P 和 BW-P 复溶乳液的整体粒径比 C-P 乳液较小，MVI 曲线平衡所需时间更长（50 min）。与 C-P 所制冰淇淋相比，BW-P 和 HPKO-P 冰淇淋的硬度相对较高，融化速率较慢。HPKO-P 冰淇淋表面粗糙，入口后存在颗粒感，而 BW-P 冰淇淋融化后留有一些油腻感。经感官评价，BW-P 冰淇淋的整体可接受度接近 C-P 冰淇淋，具备商业化应用的潜力。本实验中关于油凝胶与其他组分（如蛋白质、小分子乳化剂）相互作用对脂肪失稳的影响机制探讨不够深入，后续将对配方进一步优化，并结合脑电技术等智能评价手段，开发具有更佳感官品质和市场前景的功能性冰淇淋预拌粉。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] 王才立, 张效伟, 张钊. 乳化型大豆分离蛋白对冰淇淋质构的影响及工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(8): 219−223. [WANG Caili, ZHANG Xiaowei, ZHANG Zhao. Effect of emulsified soy protein isolate on the texture of ice cream and its optimization process[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(8): 219−223.]

[2] ABDELDAIEM A M, ALI A H, MOUSA A H, et al. Ice cream supplemented with roasted and grilled corn powders: Physical properties, rheology, antioxidant activity, color, sensory evaluation, and production cost[J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2023, 32: 100692.

[3] 贾佳, 朱蒙蒙, 宋万荣, 等. 新型脂肪替代物: 油凝胶在食品中的应用与挑战[J]. 中国油脂, 2025, 50(3): 124−130,152. [JIA Jia, ZHU Mengmeng, SONG Wanrong, et al. New fat substitutes: Applications and challenges of oleogels[J]. China Oils and Fats, 2025, 50(3): 124−130,152.]

[4] 王鹏, 王静怡, 范越, 等. 基于大数据可视化分析植物油凝胶研究现状及发展趋势[J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 460−470. [WANG Peng, WANG Jingyi, FAN Yue, et al. Research status and development trend of vegetable oil gel based on big data visualization[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(19): 460−470.]

[5] LIU Ning, NAN Jin, ZHANG Kun, et al. Fat coalescence and texture improvement of ice cream based on medium-chain triglyceride oleogel: Effect of gelator type[J]. Food Hydrocolloids, 2024, 152: 109921.

[6] 熊文珂, 蒋瑜, 凌德娣, 等. 粉末油脂在软冰淇淋预拌粉中的应用[J]. 食品安全导刊, 2011(8): 55−56. [XIONG Wenke, JIANG Yu, LING Dedi, et al. Farinose fat's application in the blends powder of soft ice cream[J]. China Food Safety, 2011(8): 55−56.]

[7] KORMA S A, WEI W, ALI A H, et al. Spray-dried novel structured lipids enriched with medium-and long-chain triacylglycerols encapsulated with different wall materials: Characterization and stability[J]. Food Research International, 2019, 116: 538−547.

[8] 张成成, 李炜娴, 林志伟, 等. OSA 淀粉-单宁酸-壳聚糖复合物 Pickering 乳液的制备及性质研究[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2024, 41(4): 266−271. [ZHANG Chengcheng, LI Weixian, LIN Zhiwei, et al. Preparation and properties of OSA starch-tannin-chitosan complex Pickering emulsion[J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Ziran Kexueban), 2024, 41(4): 266−271.]

[9] A'YUN Q, COGHE K, REBRY F, et al. Probing the improved heat stabilizing capacity of dry heat conjugated whey protein in oil-in-water emulsions: A microrheological study[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 140: 108619.

[10] JIANG J, JING W Q, XIONG Y L, et al. Interfacial competi-

tive adsorption of different amphipathicity emulsifiers and milk protein affect fat crystallization, physical properties, and morphology of frozen aerated emulsion[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 87: 670−678.
[11] CHEN Meimiao, LI Wantong, WANG Wenbo, et al. Effects of gelation on the stability, tribological properties and time-delayed release profile of double emulsions[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 131: 107753.
[12] 许丹, 陈云云, 沈虹力, 等. 基于气相色谱-离子迁移谱和电子舌技术分析鱿鱼须烤制过程中风味轮廓变化[J]. 食品工业科技, 2025, 46(11): 273−280. [XU Dan, CHEN Yunyun, SHEN Hongli, et al. Analysis the changes of flavor profile of squid tentacles during the baking process based on gas chromatography-ion mobility spectroscopy and electronic tongue[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(11): 273−280.]
[13] ZHU Jianyu, LI Xiaotian, LIU Lu, et al. Preparation of spray-dried soybean oil body microcapsules using maltodextrin: Effects of dextrose equivalence[J]. LWT, 2022, 154: 112874.
[14] QUISPE-CONDORI S, SALDAÑA M D A, TEMELLI F. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying[J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 44(9): 1880−1887.
[15] SAMBORSKA K, BOOSTANI S, GERANPOUR M, et al. Green biopolymers from by-products as wall materials for spray drying microencapsulation of phytochemicals[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 108: 297−325.
[16] QU Bai, ZHONG Qixin. Casein-maltodextrin conjugate as an emulsifier for fabrication of structured calcium carbonate particles as dispersible fat globule mimetics[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 66: 61−70.
[17] JAKKAMSETTY C, SUBRAMANIAN P, RASHIDINEJAD A. Chapter 4-Spray drying of milk and milk products[M]. Spray Drying for the Food Industry. Woodhead Publishing, 2024: 87−123.
[18] 葛耀进, 黎雨浩, 彭盛峰, 等. 均质压力对亚麻籽油体乳液稳定性及体外消化的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 84−94. [GE Yaojin, LI Yuhao, PENG Shengfeng, et al. Effect of homogenization pressure on the stability and *in vitro* digestion of flaxseed oil emulsion[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(3): 84−94.]
[19] FANG Z X, BHANDARI B. Encapsulation and delivery of bioactive citrus pomace of polyphenols—a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(10): 510−523.
[20] 刘兴丽, 魏莹莹, 张艳艳, 等. 脱酰胺马铃薯蛋白乳液的制备及其微流变特性[J]. 食品科学, 2023, 44(2): 94−100. [LIU Xingli, WEI Yingying, ZHANG Yanyan, et al. Preparation and microrheological properties of deaminated potato protein emulsion[J]. Food Science, 2023, 44(2): 94−100.]
[21] 郑环宇, 孔洋, 郑丽, 等. 大豆蛋白-多糖复合物结构与性能及其稳定性研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(6): 406−415. [ZHENG Huanyu, KONG Yang, ZHENG Li, et al. Effect of soybean protein-polysaccharides complexes on structure, properties and stability[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(6): 406−415.]
[22] FULLER G T, CONSIDINE T, GOLDING M, et al. Aggregation behavior of partially crystalline oil-in-water emulsions: Part II–Effect of solid fat content and interfacial film composition on quiescent and shear stability[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 23−32.
[23] 段静静. 棕榈油中间分提物(PMF)在软冰淇淋预拌粉中应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2016. [DUAN Jingjing. Application of palm mid fraction (PMF) in soft ice cream premix powder[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.]
[24] ZHAO Mengdi, CHEN Ling, LIU Fei, et al. The impact of glycerol monostearate's similarity to fats and fatty acid composition of fats on fat crystallization, destabilization, and texture properties of ice cream[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2023, 103(14): 6837−6848.
[25] DEMIRI E S A M. The effect of stevia, emulsifier and milk powder on melting rate, hardness and overrun of ice cream formulations during storage[J]. Dairy/Mljekarstvo, 2020, 70(2): 120−130.
[26] ZHU Y, BHANDARI B, PRAKASH S. Relating the tribo-rheological properties of chocolate flavoured milk to temporal aspects of texture[J]. International Dairy Journal, 2020, 110: 104794.
[27] KROP E M, HETHERINGTON M M, HOLMES M, et al. On relating rheology and oral tribology to sensory properties in hydrogels[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 88: 101−113.
[28] NGUYEN P T M, KRAVCHUK O, BHANDARI B, et al. Effect of different hydrocolloids on texture, rheology, tribology and sensory perception of texture and mouthfeel of low-fat pot-set yoghurt[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 72: 90−104.
[29] UPADHYAY R, CHEN J S. Smoothness as a tactile percept: Correlating 'oral' tribology with sensory measurements[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 87: 38−47.
[30] LIU Jianbin, LIU Mengya, HE Congcong, et al. Effect of thermal treatment on the flavor generation from Maillard reaction of xylose and chicken peptide[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 64(1): 316−325.
[31] 桂海佳, 任丽蓉, 王晓华, 等. 基于 SPME-GC-MS 和电子鼻技术对牛肉蛋白肽美拉德反应产物风味成分分析[J]. 中国调味品, 2023, 48(5): 160−166. [GUI Haijia, REN Lirong, WANG Xiaohua, et al. Analysis on flavor components of beef protein peptide Maillard reaction products based on SPME-GC-MS and electronic nose technology[J]. China Condiment, 2023, 48(5): 160−166.]