

曾勇超, 曾 谙, 邓欣伦, 等. 麦芽糊精与复配糖比例对降糖植脂奶油搅打性能和品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 211-217. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010207

ZENG Yongchao, ZENG Di, DENG Xinlun, et al. Effects of Ratios between Maltodextrin and Compound Sugars on Whipping Properties and Qualities of Sugar-reduced Whipped Creams[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(21): 211-217. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010207

· 工艺技术 ·

麦芽糊精与复配糖比例对降糖植脂奶油搅打性能和品质的影响

曾勇超¹, 曾 谙¹, 邓欣伦², 赵谋明¹, 赵强忠^{1,*}

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640;

2. 广东稳邦生物科技有限公司, 广东肇庆 526238)

摘要: 本文以麦芽糊精和复配糖(葡萄糖、白砂糖和淀粉糖浆组成)为原料制备总糖浓度为 18.60 wt% 的降糖植脂奶油, 研究了麦芽糊精与复配糖不同的比例(0:20~9:11)对降糖植脂奶油搅打性能和品质的影响。比较了植脂奶油的水分分布、界面蛋白浓度、脂肪部分聚结率、最佳搅打时间、搅打起泡率、硬度、感官评价、储藏稳定性等指标。研究发现, 当麦芽糊精与复配糖比例从 0:20 增加至 3:17, 植脂奶油的界面蛋白浓度和硬度明显增加, 储藏稳定性提高, 感官评价稍有降低; 进一步增加麦芽糊精与复配糖比例至 9:11 时, 植脂奶油的脂肪部分聚结率、搅打起泡率、感官评价和储藏稳定性明显降低, 搅打性能和品质均较差。综合考虑搅打性能和品质的影响, 当麦芽糊精与复配糖的比例分别在 3:17 和 5:15 时, 降糖植脂奶油的搅打起泡率为 353.3% 和 342.2%, 硬度为 325.6 g 和 329.1 g, 横截面光滑, 此时搅打性能和品质更佳。

关键词: 植脂奶油, 麦芽糊精, 脂肪部分聚结, 搅打起泡率, 储藏稳定性

中图分类号: TS201.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)21-0211-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010207



本文网刊:

Effects of Ratios between Maltodextrin and Compound Sugars on Whipping Properties and Qualities of Sugar-reduced Whipped Creams

ZENG Yongchao¹, ZENG Di¹, DENG Xinlun², ZHAO Mouming¹, ZHAO Qiangzhong^{1,*}

(1. College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Guangdong Wen Bang Biotechnology Co., Ltd., Zhaoqing 526238, China)

Abstract: In this work, sugar-reduced whipped creams were prepared using maltodextrin and compound sugars (composed of glucose, sucrose and corn syrup) with a total sugar content of 18.60 wt%. The effects of the different ratio between maltodextrin and compound sugars (0:20~9:11) on whipping properties and qualities of sugar-reduced whipped creams were investigated. The water distribution, interfacial protein concentration, partial coalescence, optimum whipping time, overrun, firmness, sensory evaluation and storage stability were compared. The results indicated that the interfacial protein concentration and firmness of whipped creams significantly increased, the storage stability improved, but the sensory evaluation slightly decreased, as the ratio between maltodextrin and compound sugars increased from 0:20 to 3:17. When the ratio between maltodextrin and compound sugars increased to 9:11, lower partial coalescence, overrun, sensory evaluation and storage stability of whipped creams were observed, and the whipping properties and qualities were relatively poor. In summary, considering the effects of whipping properties and qualities, when the ratios between maltodextrin and compound sugars were 3:17 and 5:15, the overrun and firmness of sugar-reduced whipped creams reached 353.3%,

收稿日期: 2022-01-24

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32072148); 广东省重点领域研发计划项目(2020B020226010)。

作者简介: 曾勇超(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品乳浊体系, E-mail: zengyc0929@163.com。

* 通信作者: 赵强忠(1976-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品乳浊体系, E-mail: qz Zhao@scut.edu.cn。

342.2% and 325.6 g, 329.1 g, respectively, and smooth cross-sections were observed, which exhibited good whipping properties and qualities.

Key words: whipped cream; maltodextrin; partial coalescence; overrun; storage stability

植脂奶油是以植物脂肪和糖类物质为原料,添加乳化剂、稳定剂等组分,经混合、均质、冷却和搅打后形成具有复杂泡沫结构的产品^[1-2]。因其替代了高热量、高脂肪、高成本的传统乳脂奶油而被广泛使用^[3]。传统植脂奶油中油脂含量普遍在 15%~20%,不含胆固醇,但含有 25%~30% 的糖类物质。当今食品加工的潮流趋势是低脂、低糖和低升糖指数^[4],故需要解决减少糖类物质含量导致稳定性下降和口感变差的问题。

糖类物质作为植脂奶油中一种常用原料,赋予甜味的同时,还能降低乳浊液冰点和凝固点^[5],提高乳浊液粘度、泡沫细腻度和稳定性。麦芽糊精作为淀粉的不完全水解产物,生产成本低,并且具有较好的溶解性和稳定性,不易褐变和结晶,能够较好地平衡味道和质地,广泛应用于乳制品等领域^[6]。Mohamad 等^[7]采用甜菊糖苷、异麦芽酮糖和麦芽糊精替代蔗糖制备植脂奶油,增加甜味的同时改善了产品的质地。葡萄糖和淀粉糖浆作为植脂奶油中常用的糖类物质,前期通过对比葡萄糖和淀粉糖浆对植脂奶油搅打性能和品质的影响,发现麦芽糊精可减少搅打前乳浊液中不规则聚集体的数量,在搅打过程中为脂肪网络结构提供支撑作用^[8]。由于麦芽糊精具有良好的溶解性和不易结晶性,其能够降低乳浊液冷冻过程中液相冰晶的生成,提高乳浊液的冻融稳定性^[9-10]。因此,将麦芽糊精应用于降糖植脂奶油中,研究麦芽糊精对降糖植脂奶油搅打性能和品质的影响可为降糖植脂奶油的深入研究提供理论指导。

本文以降糖植脂奶油为研究对象,在固定麦芽糊精与复配糖总添加量下,研究麦芽糊精与复配糖的比例对其搅打性能和品质的影响。通过表征水分分布、界面蛋白浓度、脂肪部分聚结率、搅打特性、质构特性、感官评价及储藏稳定性,探究麦芽糊精应用于降糖植脂奶油的可行性,确定合适的添加比例,并初步建立搅打性能与品质之间的联系。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

BL-41 代可可脂 东莞嘉吉粮油有限公司;酪蛋白酸钠(纯度 ≥ 90.1 wt%) 新西兰恒天然集团;葡萄糖(固形物含量 90%)、麦芽糊精(固形物含量 94%) 诸城东晓生物科技有限公司;淀粉糖浆(固形物含量 75%) 肇庆焕发生物科技有限公司;白砂糖(固形物含量 99%) 东莞东糖集团有限公司;乳化稳定剂 广东稳邦生物科技有限公司;硫酸、氢氧化钠(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司。

APV-1000 型高压均质机 丹麦 APV 公司;KM800 多功能调速搅拌机 英国 KENWOOD 公司;RW20

型悬臂式搅拌机 德国 IKA 公司;NMI 20-040H-1 低场核磁共振仪 苏州纽迈分析仪器有限公司;Mastersizer 2000 粒度分布仪 德国 Malvern Instruments 公司;KDN-2C 型凯氏定氮仪 上海纤检仪器有限公司;TA-XT 2i 质构分析仪 英国 SMS 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 植脂奶油的制备

1.2.1.1 基本配方 本文用植脂奶油配方如表 1 所示,糖类总量 18.60 wt%(分别选择麦芽糊精与复配糖的比例为 0:20、1:19、3:17、5:15、7:13 和 9:11),其中复配糖由葡萄糖、白砂糖和淀粉糖浆以 7:1:4 的质量比组成(市售植脂奶油中糖类物质常用配比)。

表 1 植脂奶油基本配方
Table 1 The formulation of whipped cream

组分	质量分数(%)					
BL-41代可可脂	16.00					
酪蛋白酸钠	0.50					
乳化稳定剂	1.50					
麦芽糊精干基	0.00 ^a	0.93 ^b	2.79 ^c	4.65 ^d	6.51 ^e	8.37 ^f
复配糖干基	18.60 ^a	17.67 ^b	15.81 ^c	13.95 ^d	12.09 ^e	10.23 ^f
去离子水	补至100.00					

注: a、b、c、d、e、f 分别表示麦芽糊精与复配糖比例为 0:20、1:19、3:17、5:15、7:13 和 9:11 时麦芽糊精干基和复配糖干基的添加量。

1.2.1.2 工艺流程 将 BL-41 代可可脂在 65 °C 的温度下熔化并混合均匀,同时加入乳化稳定剂和蛋白质,分散均匀得到油相。淀粉糖浆、白砂糖、葡萄糖和麦芽糊精在加热条件下完全溶解于去离子水中,得到水相。将两相混合,在 65 °C 的条件下以 700~800 r/min 的速度搅拌 30 min,使两者充分混合均匀。混合液以 45 MPa 高压均质两次,将均质后的乳浊液快速冷却至 15 °C,然后置于-18 °C 下冷冻保藏 12 h。将乳浊液(800 \pm 10 g)解冻至 0~4 °C,用可调速搅拌机以 5 档的转速(约 160 r/min)对乳浊液进行搅打,打发至奶油与搅拌浆的金属圈和搅拌器即将脱离,表面光泽消失,并有软尖峰形成,即达到最佳的泡沫结构^[11]。

1.2.2 植脂奶油搅打性能的测定

1.2.2.1 水分分布的测定 参考 Zhao 等^[12]的方法,采用低场核磁共振仪测定植脂奶油在磁场强度 0.5 T、质子共振频率 20 MHz 条件下的横向弛豫时间(T_2),以解析样品的水分分布状态。将搅打好的植脂奶油转移至 15 mL 血清瓶,4 °C 下平衡 30 min,然后置于 40 mm 圆柱形核磁管中,并快速插入 NMR 分析仪。使用 Carr-Purcell-Meiboom-Gill(CPMG)脉冲序列分析 T_2 弛豫时间。用 Niumag MultiExp Inv Analysis (Version 4.09)软件对上述的指数衰减

曲线进行拉普拉斯逆变换算法反演得到 T_2 图谱及数据。

T_2 弛豫时间测量参数为: 测量温度 4 °C, 采样频率 200 kHz, 重复扫描 6 次, 重复采样等待时间 4 s, 90°和 180°脉冲之间 480 μ s, 回波个数 12000。

1.2.2.2 界面蛋白浓度的测定 参照 Long 等^[13]的方法准确称取 20 g 乳浊液或植脂奶油, 在 25 °C 下, 将样品以 10000 r/min 转速下离心 30 min, 乳化的油脂由于密度比水轻而上浮。小心用注射器将下清液吸出, 用微量凯氏定氮法测定液相中游离的蛋白质含量。界面蛋白浓度(C , mg/m²)的计算公式(1)如下:

$$C = \frac{M_t - M_s}{F_m \times SSA} \times 1000 \quad \text{式 (1)}$$

其中, M_t 为样品中的总蛋白量(g), M_s 为样品在液相中的蛋白量(g), F_m 为样品乳相的质量(g), SSA 为比表面积(m²/g), 由 Mastersizer 2000 激光粒度分析仪测得。

1.2.2.3 脂肪部分聚结率的测定 通过激光衍射技术测定脂肪粒度分布是量化植脂奶油中部分聚结可靠而快速的方法。粒度分布处于 3.0~1000 μ m 范围内累积百分比可被用作脂肪部分聚结率的量度^[14-15]。参照 Liu 等^[16]的方法, 样品以去离子水为分散介质稀释 1000 倍, Mastersizer 2000 颗粒粒度分析仪的参数设定如下: 选用 Hydro 2000MU(A)进样器及通用(球形)分析模式, 分散剂为水, 颗粒及分散介质的折射率分别为 1.414 和 1.330; 颗粒吸收率为 0.001, 转速 2000 r/min。

1.2.2.4 最佳搅打时间和搅打起泡率的测定 将解冻后乳浊液打发至最佳泡沫结构所需的时间即为最佳搅打时间^[11](t_{op} , s), 此时奶油泡沫网状结构所结合的空气量称为搅打起泡率。搅打起泡率的计算公式(2)^[1]如下:

$$\text{搅打起泡率}(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

其中, M_1 是同体积搅打前乳浊液的质量(g); M_2 是同体积搅打后奶油的质量(g)。

1.2.2.5 质构特性的测定 参照 Liu 等^[16]的方法, 植脂奶油的质构特性采用 TA-XT 2i 质构分析仪(测定压缩力模式)测定。具体条件为: A/BE 探头(直径为 35 mm), 测试前、测试中及测试后探头速度分别为 5.0、1.0 和 5.0 mm/s, 测试距离为 25 mm, 触发力为 Auto-20 g, 数据获取速度设为 200 pps。

1.2.3 植脂奶油品质的测定

1.2.3.1 感官评价 参考杜翠^[17]的方法, 植脂奶油的感官评定由 10 名受过基本培训的评定人员进行, 具体评分项目如表 2 所示。通过品尝检测入口即化感、油腻感和甜味, 用目测法判断产品的光泽度和细腻度。

1.2.3.2 浆液分离系数的测定 参照 George 等^[18]的

表 2 植脂奶油的感官评定标准

Table 2 Sensory evaluation standard of whipped cream

项目	品质特征
入口即化感	口感顺滑为好, 粘稠糊口为差
油腻感	无油腻感为好, 有油腻感为差
光泽度	表面有光泽为好, 表面无光泽为差
细腻度	组织纹理细腻为好, 组织纹理粗糙为差
甜味	甜味适宜为好, 无甜味为差

方法稍作修改, 称取一定量搅打好的植脂奶油放在漏斗上, 然后将漏斗置于 25 °C 的培养箱中 12 h, 记录奶油水析滴落的液体质量占总质量的比率(%)。

1.2.3.3 储藏稳定性试验 将搅打好的植脂奶油在室温下码堆造型, 置于室温下, 储存 6 h 后用刮刀斜切, 通过切面观察奶油内部变粗程度并拍照记录。

1.3 数据处理

每组实验重复 3 次, 最后结果以均值 \pm 标准方差表示, 采用数据分析软件 SPSS 21.0 对实验结果在 $P < 0.05$ 水平上进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油搅打性能的影响

2.1.1 水分分布 麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油的 T_2 分布曲线如图 1 所示。结果显示, 每个样品均出现 3 个峰, 代表三种不同状态的水。其中, 短弛豫时间的峰 T_{2b} 表示与大分子物质紧密结合的水(结合水); 峰 T_{21} 表示被凝胶网络截留的水, 为不易流动水; 长弛豫时间的峰 T_{22} 表示凝胶中的自由水^[19]。

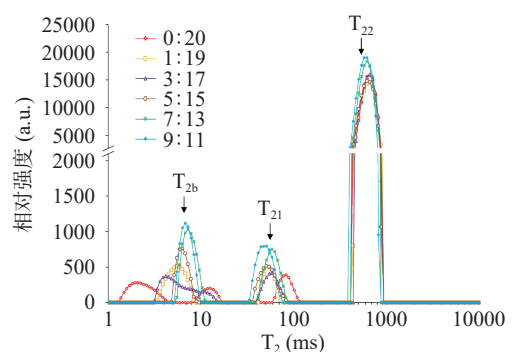


图 1 不同麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油水分分布的影响

Fig.1 Effects of different ratios between maltodextrin and compound sugars on water distribution of whipped creams

图 1 显示样品第一个峰 T_{2b} 弛豫时间在 1~20 ms 范围内, 被认为是滞留在高度组织化结构中的水。结合水具有较低的水迁移率, 并且与蛋白质紧密结合有关^[20]。随着麦芽糊精添加量增加, T_{2b} 的峰比例稍有增加, 结果表明水与酪蛋白结合更紧密, 可能影响蛋白质的界面吸附。第二个峰 T_{21} 的弛豫时间在 36~150 ms 范围内, 是弱凝胶结构内笼络的不易流动水。随着麦芽糊精与复配糖比例增大, T_{21} 从 86.099 ms

降低至 51.114 ms, 峰比例从 1.913% 增加至 4.217%, 表明弱凝胶网络结构增强, 滞留的水分子更多。这可能是由于随着麦芽糊精比例增加, 更多的麦芽糊精通过分子间相互交联形成的网络结构并占据更大的空间位阻, 滞留更多的不易流动水, 水的流动性受凝胶网络限制^[21], 因此弛豫时间降低, 峰比例增加。 T_2 分布曲线中弛豫时间在 333~1000 ms 的峰(T_{22}), 表示植脂奶油中占比最高的自由水。 T_{22} 的信号幅值占主导地位, 随着麦芽糊精与复配糖比例增大, 不易流动水比例增加, 水分迁移速率和弛豫时间降低, 因此自由水的比例也降低, 峰比例从 94.196% 降低至 91.314%。

2.1.2 界面蛋白浓度 蛋白质作为两亲分子, 可吸附在脂肪球和气泡表面^[22-23]。界面蛋白浓度不仅能反映蛋白质在乳液油水界面的吸附程度^[24], 同时也是影响植脂奶油搅打性质的重要因素。麦芽糊精与复配糖比例对乳液和植脂奶油的界面蛋白浓度影响如图 2 所示。随着麦芽糊精与复配糖比例从 0:20 增大至 9:11, 搅打前乳液界面蛋白浓度从 0.65 mg/m² 增至 0.71 mg/m²。界面蛋白浓度由界面蛋白总吸附量和 SSA 共同决定^[25]。相比于葡萄糖, 麦芽糊精能更好地结合水, 减缓水的扩散速率, 冰晶体积减小, 因此降低了脂肪液滴表面的压缩力, 从而保护蛋白质界面的吸附性能^[8-9], 因此可能的原因是界面蛋白含量的增加速度快于 SSA。当麦芽糊精与复配糖比例从 0:20 增加至 3:17 时, 植脂奶油界面蛋白浓度从 2.34 mg/m² 升高至 2.93 mg/m², 麦芽糊精浓度升高, 在搅打过程中其可能抑制蛋白质从界面解析, 使得界面蛋白浓度升高; 但进一步增加至 9:11 时, 界面蛋白浓度降低至 1.43 mg/m²。此时麦芽糊精形成的更致密弱凝胶网络结构能够降低脂肪球碰撞频率, 导致脂肪球部分聚结速率减缓, 粒径减小, SSA 增加, 因此界面蛋白浓度逐渐降低。

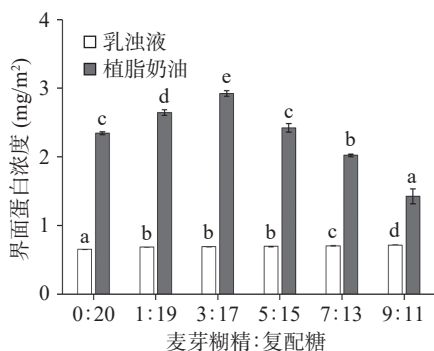


图 2 不同麦芽糊精与复配糖比例对乳液和植脂奶油界面蛋白浓度的影响

Fig.2 Effects of different ratios between maltodextrin and compound sugars on interfacial protein concentration of emulsions and whipped creams

注: 不同字母表示各组间存在显著差异($P<0.05$); 图 3 同。

2.1.3 脂肪部分聚结率 在搅打过程中, 结晶脂肪刺破相互之间的脂肪球膜并发生部分聚结。部分聚结

的速度和程度取决于界面膜的强度^[24]。麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油脂肪部分聚结率的影响如图 3 所示。随着麦芽糊精与复配糖比例从 0:20 增大至 3:17, 麦芽糊精添加量较低, 搅打过程中形成的交联网络结构对脂肪球碰撞频率影响较小, 故脂肪部分聚结率也无显著差异($P>0.05$); 进一步增加麦芽糊精与复配糖比例至 9:11 时, 脂肪部分聚结率从 64.7% 降低至 52.6%。可能的原因是: 一方面, 麦芽糊精添加比例增加, 复配糖中葡萄糖的浓度降低, 而相比于麦芽糊精和淀粉糖浆, 葡萄糖更能有效促进脂肪球发生部分聚结的速率^[8]; 另一方面, 乳浊液界面蛋白浓度增加(图 2), 搅打过程中脂肪球膜不易被刺破而发生部分聚结, 并且麦芽糊精形成的连续网络降低了水分迁移速率(图 1)。

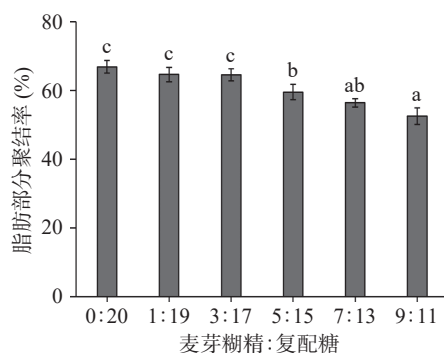


图 3 不同麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油脂肪部分聚结率的影响

Fig.3 Effects of different ratios between maltodextrin and compound sugars on partial coalescence of whipped creams

2.1.4 最佳搅打时间和搅打起泡率 植脂奶油的搅打性能可通过 t_{op} 、搅打起泡率等来评估^[26]。 t_{op} 作为搅打奶油的重要指标之一^[27], 一般认为 t_{op} 短、搅打起泡率高、浆液分离系数低的植脂奶油最为理想^[28]。麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油搅打性能的影响如表 3 所示。随着麦芽糊精与复配糖比例的增大, t_{op} 从 380.3 s 增加到 587.5 s。随着麦芽糊精比例增加, 乳液界面膜强度增加(图 2)导致脂肪球不易刺破界面膜, 脂肪球液滴之间不易桥联, 部分聚结速率降低, 并且连续相中形成的连续网络能有效抑制脂肪球的碰撞频率, 因此 t_{op} 逐渐延长。

植脂奶油的搅打起泡率不仅取决于液相蛋白浓

表 3 不同麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油最佳搅打时间、搅打起泡率的影响

Table 3 Effects of different ratios between maltodextrin and compound sugars on t_{op} , overrun of whipped creams

麦芽糊精:复配糖	t_{op} (s)	搅打起泡率(%)
0:20	380.3±4.2 ^a	355.2±6.5 ^c
1:19	383.4±5.2 ^a	354.6±4.5 ^c
3:17	390.1±4.4 ^a	353.3±3.2 ^{bc}
5:15	407.2±2.6 ^b	342.2±3.6 ^{bc}
7:13	416.9±4.1 ^b	334.5±2.3 ^b
9:11	587.5±8.3 ^c	305.1±10.2 ^a

注: 同一列不同小写字母表示各组间存在显著差异($P<0.05$); 表 4、表 6 同。

度,还取决于脂肪部分聚结的速度和程度。在搅打过程中,乳化剂与蛋白质在界面上发生竞争性吸附,液相蛋白浓度和搅打起泡率增加,此时脂肪球发生部分聚结并吸附于气泡表面稳定气泡^[1]。随着麦芽糊精与复配糖比例增加,搅打起泡率从 355.2% 降低至 305.1%。由图 2 可知,随着麦芽糊精添加量增加,乳浊液界面蛋白浓度增加,液相蛋白浓度降低,第一阶段充入的空气体积减小,并且较低的部分聚结速率不利于包裹气泡并形成脂肪网络结构^[18],故气泡破裂速率增加,搅打起泡率随麦芽糊精与复配糖比例增大而降低。

2.1.5 质构特性 质构特性是评价搅打奶油可塑性的重要指标^[29],植脂奶油的质构特性变化如表 4 所示。随着麦芽糊精与复配糖比例增加,植脂奶油的硬度、稠度、粘结性和粘性指数均显著增加($P<0.05$)。植脂奶油要在搅打过程中由一个粘稠的液体转变为一个塑性固体,在结构形成过程中很大程度上依赖于脂肪部分聚结的作用^[30-31]。一方面,随着麦芽糊精与复配糖比例增大,脂肪部分聚结率降低,但由于搅打起泡率降低,脂肪晶体网络稳定的气泡体积减小;另一方面,麦芽糊精形成的弱凝胶结构强度增加,增强了蛋白质与聚结脂肪包裹空气的能力。在外力的作用下,脂肪晶体不易刺破界面膜,因此导致植脂奶油的硬度、稠度、粘结性和粘性指数增加^[32]。麦芽糊精作为增稠剂能够增加液相的粘度^[6],并限制水的移动,从而导致稠度、粘结性和粘性指数增加。

表 4 不同麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油质构特性的影响

Table 4 Effects of different ratios between maltodextrin and compound sugars on textural properties of whipped creams

麦芽糊精:复配糖	硬度(g)	稠度(g·s)	粘结性(g)	粘性指数(g·s)
0:20	303.2±7.1 ^a	5818.3±44.3 ^a	-272.1±3.4 ^a	-993.2±40.5 ^a
1:19	320.4±2.3 ^{ab}	6194.5±64.1 ^b	-287.9±1.7 ^b	-1057.5±36.7 ^{ab}
3:17	325.6±3.2 ^b	6403.5±65.2 ^c	-302.2±17.5 ^{bc}	-1090.2±16.3 ^{bc}
5:15	329.1±5.6 ^b	6645.2±48.9 ^d	-307.5±5.3 ^{cd}	-1147.6±21.5 ^{cd}
7:13	337.5±4.1 ^b	6848.1±23.4 ^e	-323.6±5.8 ^d	-1206.2±37.5 ^{de}
9:11	360.3±10.4 ^f	7331.8±169.2 ^f	-351.2±4.2 ^e	-1226.9±17.1 ^e

2.2 麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油品质的影响

2.2.1 感官评价 表 5 比较了不同麦芽糊精与复配糖比例的植脂奶油入口即化感、油腻感、光泽度、细腻度和甜味。随着麦芽糊精与复配糖比例从 0:20 增加至 5:15,植脂奶油的入口即化感稍有降低,这是由于麦芽糊精的添加导致奶油粘性增加。油腻感都较轻,细腻度和光泽度与空白对照组差异不明显。这是由于植脂奶油的脂肪部分聚结程度适中,并且界面蛋白浓度相对较高;进一步增加麦芽糊精与复配糖比例至 9:11,脂肪部分聚结率和界面蛋白浓度降低导致表面细腻度、光泽度稍有下降。植脂奶油的稠度、粘结性和粘性指数增加导致入口即化感变差。麦芽糊精甜度低于葡萄糖,因此甜味不断降低。从感官品

质考虑,最佳麦芽糊精与复配糖比例为 3:17 和 5:15。

表 5 不同麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油感官评价的影响

Table 5 Effects of different ratios between maltodextrin and compound sugars on sensory evaluation of whipped creams

麦芽糊精:复配糖	入口即化感	油腻感	细腻度	光泽度	甜味
0:20	++++	很轻	+++	+++	+++
1:19	+++	轻	+++	+++	+++
3:17	+++	较轻	+++	+++	++
5:15	+++	较轻	+++	+++	++
7:13	++	较轻	++	++	+
9:11	+	较轻	++	++	+

注:表中“+”越多表示感官品质越好。

2.2.2 浆液分离系数和储藏稳定性 麦芽糊精添加量对植脂奶油浆液分离系数和储藏稳定性的影响分别如表 6 和图 4 所示。垒堆储藏后横切面的外观和浆液分离系数可反映气泡的稳定性^[33-34]。随着麦芽糊精比例增加,植脂奶油的浆液分离系数从 10.1% 增

表 6 不同麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油浆液分离系数的影响

Table 6 Effects of different ratios between maltodextrin and compound sugars on serum loss of whipped creams

麦芽糊精:复配糖	浆液分离系数(%)
0:20	10.1±0.2 ^a
1:19	11.3±0.2 ^b
3:17	12.1±0.1 ^c
5:15	12.7±0.1 ^d
7:13	13.9±0.1 ^e
9:11	14.5±0.1 ^f

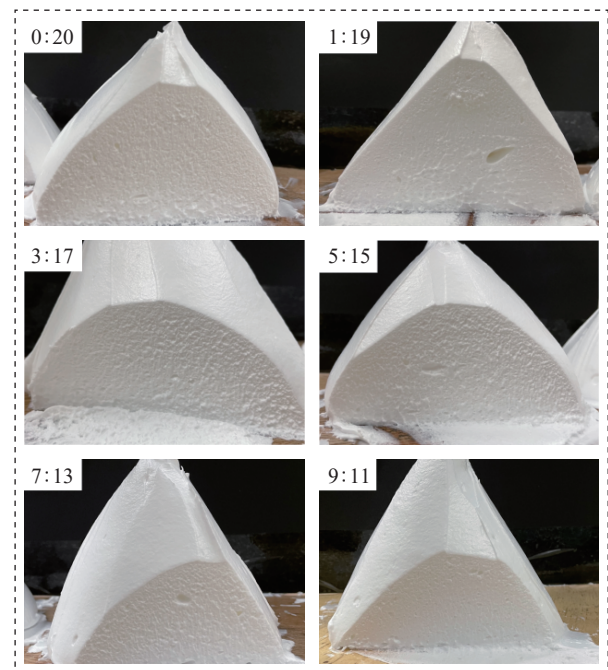


图 4 不同麦芽糊精与复配糖比例对植脂奶油储藏稳定性的影响

Fig.4 Effects of different ratios between maltodextrin and compound sugars on storage stability of whipped creams

加至 14.5%，但气泡分布更加均匀，横截面更加光滑致密。虽然麦芽糊精能够形成弱凝胶网络结构，稳定更多的不易移动水，但是植脂奶油的抗水析能力可能更多与脂肪部分聚结率有关，脂肪部分聚结率的降低导致浆液分离系数的增加(图 3)。随着麦芽糊精添加量增加，植脂奶油搅打起泡率降低，硬度增加，脂肪网络结构能更好地包裹气泡，因此适量增加麦芽糊精比例(3:17~5:15)有利于植脂奶油储藏过程中泡沫结构稳定性。

3 结论

本文研究了麦芽糊精与复配糖比例对降糖植脂奶油搅打性能和品质的影响，发现采用麦芽糊精部分替代复配糖的方法能够制备具有良好品质的降糖植脂奶油。本研究表明，添加麦芽糊精对植脂奶油的水分分布、脂肪部分聚结率、硬度等搅打性能和储藏稳定性等品质都有显著影响。麦芽糊精能够相互交联形成凝胶网络结构，降低自由水含量并增强蛋白质的界面吸附性能。当麦芽糊精与复配糖比例在 0:20~3:17 范围内，植脂奶油的界面蛋白浓度和硬度增加，脂肪部分聚结率、 t_{op} 、搅打起泡率无显著差异($P>0.05$)，搅打性能好，另外储藏稳定性提高，感官评价稍有降低；但进一步增加麦芽糊精与复配糖比例至 9:11，搅打过程中麦芽糊精形成的网络结构占据更大的空间位阻，导致植脂奶油的自由水含量、界面蛋白浓度、脂肪部分聚结率、搅打起泡率的下降， t_{op} 延长，搅打性能较差，并且感官评价和储藏稳定性显著降低($P<0.05$)，浆液分离系数增加，品质下降，因此并不是添加比例越多越好。综合考虑实际生产对良好搅打性能、口感和稳定性的需求，麦芽糊精与复配糖的比例宜控制在 3:17~5:15，此条件下制备的降糖植脂奶油的搅打性能和品质最佳，此时糖类总量仅为市售植脂奶油产品的 70% 左右。本研究为生产品质好、成本低的降糖植脂奶油提供了理论指导。

参考文献

- [1] 代克克, 陈碧芬, 黄丽华, 等. 蛋白质用量对黄油基淡奶油搅打前乳液性质及搅打性能的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(14): 23-29. [DAI K K, CHEN B F, HUANG L H, et al. Effects of protein concentration on emulsion properties before whipping and whipping properties of butter-based whipping cream[J]. *Food Science*, 2020, 41(14): 23-29.]
- [2] 王筠钠, 李妍, 李扬, 等. 搅打稀奶油乳脂肪结晶影响因素概述[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(8): 193-198. [WANG Y N, LI Y, LI Y, et al. Influence factors of milk fat crystallization of whipping cream[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(8): 193-198.]
- [3] 傅礼玮, 曾茂茂, 何志勇, 等. 不同乳化剂对大豆基搅打稀奶油的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(12): 96-100, 162. [FU L W, ZENG M M, HE Z Y, et al. Effects of different emulsifiers on soy whipped cream[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(12): 96-100, 162.]
- [4] 姜姝, 滕军伟, 刘振民, 等. 植物油脂替代动物油脂在再制奶油干酪中的应用[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(8): 55-61. [JIANG S, TENG J W, LIU Z M, et al. Application of vegetable oil as a substitute for animal oil in processed cream cheese[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(8): 55-61.]
- [5] CLEMENS R A, JONES J M, KERN M, et al. Functionality of sugars in foods and health[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2016, 15(3): 433-470.
- [6] DU Q W, TANG J J, XU M J, et al. Whey protein and maltodextrin-stabilized oil-in-water emulsions: Effects of dextrose equivalent[J]. *Food Chemistry*, 2021, 339: 128094.
- [7] AHOUEI M H, POURAHMAD R, MOGHARI A A. Improvement of physical and sensory properties of whipping cream by replacing sucrose with rebaudioside A, isomalt and maltodextrin[J]. *Food Science and Technology*, 2019, 39(1): 170-175.
- [8] ZENG Y C, ZENG D, LIU T X, et al. Effects of glucose and corn syrup on the physical characteristics and whipping properties of vegetable-fat based whipped creams[J]. *Foods*, 2022, 11(9): 1195.
- [9] GHOSH S, CRAMP G L, COUPLAND J N. Effect of aqueous composition on the freeze-thaw stability of emulsions[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2006, 272(1-2): 82-88.
- [10] 靖卫勤. 充气乳液的结晶行为对其稳定性及体外消化性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2019. [JING W Q. Effect of crystallization behavior on the stability and *in vitro* digestion of aerated emulsion[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.]
- [11] FREDRICK E, HEYMAN B, MOENS K, et al. Monoacylglycerols in dairy recombined cream: II. The effect on partial coalescence and whipping properties[J]. *Food Research International*, 2013, 51(2): 936-945.
- [12] ZHAO J, WU J H, CHEN Y N, et al. Gel properties of soy protein isolate modified by lipoxygenase-catalyzed linoleic acid oxidation and their influence on pepsin diffusion and *in vitro* gastric digestion[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(20): 5691-5698.
- [13] LONG Z, ZHAO M M, ZHAO Q Z, et al. Effect of homogenisation and storage time on surface and rheology properties of whipping cream[J]. *Food Chemistry*, 2012, 131(3): 748-753.
- [14] PETRUT R F, DANTHINE S, BLECKER C. Assessment of partial coalescence in whippable oil-in-water food emulsions[J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2016, 229: 25-33.
- [15] THAKUR R K, VIAL C H, DJELVEH G. Effect of composition and process parameters on elasticity and solidity of foamed food[J]. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2008, 47(3): 474-483.
- [16] LIU P L, HUANG L H, LIU T X, et al. Whipping properties and stability of whipping cream: The impact of fatty acid composition and crystallization properties[J]. *Food Chemistry*, 2021, 347: 128997.
- [17] 杜翠. 大豆酶解聚集体的改性及其在植脂奶油中的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2020. [DU C. The modification of insoluble soy peptide aggregate (ISPA): Application in the whipped cream[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.]
- [18] VAN AKEN G A. Aeration of emulsions by whipping[J].

- Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2001, 190(3): 333–354.
- [19] PEARCE K L, ROSENVOLD K, ANDERSEN H J, et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes-A review[J]. *Meat Science*, 2011, 89(2): 111–124.
- [20] CHEN F L, WEI Y M, ZHANG B. Characterization of water state and distribution in textured soybean protein using DSC and NMR[J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 100(3): 522–526.
- [21] KANYUCK K M, MILLS T B, NORTON I T, et al. Temperature influences on network formation of low DE maltodextrin gels[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 218: 170–178.
- [22] ZENG D, CAI Y J, LIU T X, et al. Effect of sucrose ester S370 on interfacial layers and fat crystals network of whipped cream[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 113: 106541.
- [23] 李扬, 李妍, 王筠钠, 等. 酪蛋白和工艺对再制稀奶油稳定性的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(15): 1–7. [LI Y, LI Y, WANG Y N, et al. Effect of caseins and processing conditions on stability of recombinated dairy cream[J]. *Food Science*, 2020, 41(15): 1–7.]
- [24] ZHAO Q Z, KUANG W M, LONG Z, et al. Effect of sorbitan monostearate on the physical characteristics and whipping properties of whipped cream[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(3): 1834–1840.
- [25] 邝婉涓. 流变学分析在搅打奶油品质评价中的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2014. [KUANG W M. Application of rheological analysis in quality evaluation of whipped cream[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.]
- [26] 袁佩佩, 王文琼, 周吉阳, 等. 二次均质工艺中一次均质压力对黄油基搅打稀奶油品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(10): 180–187. [YUAN P P, WANG W Q, ZHOU J Y, et al. Effects of first-stage homogenization pressure in two-stage homogenization on butter-based whipping cream quality[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(10): 180–187.]
- [27] NGUYEN V, DUONG C T M, VU V. Effect of thermal treatment on physical properties and stability of whipping and whipped cream[J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 163: 32–36.
- [28] DHUNGANA P, TRUONG T, BANSAL N, et al. Effect of fat globule size and addition of surfactants on whippability of native and homogenised dairy creams[J]. *International Dairy Journal*, 2020, 105: 104671.
- [29] 王良君, 赵强忠. 3 种市售搅打奶油的流变特性比较研究[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(12): 234–240, 177. [WANG L J, ZHAO Q Z. Rheological properties of three types of commercially available whipped cream[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(12): 234–240, 177.]
- [30] 赵强忠. 搅打稀奶油的搅打性能和品质的变化规律及其机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2006. [ZHAO Q Z. Change and mechanism of whipping properties and qualities of whipped cream[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2006.]
- [31] 王琳, 赵强忠, 赵谋明. 大豆蛋白与酪蛋白比例对搅打稀奶油稳定性影响的研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(5): 110–113. [WANG L, ZHAO Q Z, ZHAO M M. Effects of soy protein and casein proportion on the stability of whipped cream[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(5): 110–113.]
- [32] ZHAO Q Z, ZHAO M M, LI J R, et al. Effect of hydroxypropyl methylcellulose on the textural and whipping properties of whipped cream[J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(8): 2168–2173.
- [33] 李扬, 李妍, 王筠钠, 等. 酪蛋白种类和二次均质工艺对再制稀奶油搅打特性的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(7): 106–112. [LI Y, LI Y, WANG Y N, et al. The effect of casein types and second stage homogenization on whipping properties of recombinated dairy cream[J]. *Food Science*, 2021, 42(7): 106–112.]
- [34] FARAHMANDFAR R, ASNAASHARI M, SALAH M R, et al. Effects of basil seed gum, cress seed gum and quince seed gum on the physical, textural and rheological properties of whipped cream[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 98: 820–828.