

# 蔗糖酯二元复配乳化剂对复合骨汤 乳液稳定性和品质的影响

贺紫琼, 杨杨, 张立彦\*

(华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

**摘要:** 为了增强复合骨汤的乳化稳定性, 改善乳化品质, 将蔗糖酯分别与单甘酯、大豆卵磷脂及微晶纤维素复配成不同亲水亲油平衡值 (Hydrophile Lipophilic Balance, HLB) 的二元乳化剂, 研究其对复合骨汤乳液的乳化稳定效果及内在原因, 并探讨乳液感官品质的变化。结果表明: 复配蔗糖酯与单甘酯的 HLB 值为 8 时乳液 Zeta 电位值为 (-34.8 mV), 黏度为 8.91 Pa·s, 平均粒径  $D_{[4,3]}$  (1 496 nm); 蔗糖酯和大豆卵磷脂复配 HLB 值为 12 时乳液 Zeta 电位值为 (-38 mV), 黏度为 8.94 Pa·s, 平均粒径  $D_{[4,3]}$  (725.1 nm) 蔗糖酯与微晶纤维素复配 HLB 值在 10~12 之间时乳液 zeta 电位值在 (-26.3 mV) 至 (-29.3 mV) 之间, 复合骨汤乳液均表现出良好的乳化稳定性。蔗糖酯与大豆卵磷脂复配对骨汤乳液的稳定效果优于其它 2 组复配乳化剂, 可使乳液中乳滴粒径显著降低 ( $P<0.05$ ), 并能增大乳滴表面的电荷数量及乳液粘度, 使乳滴均匀分散、不易聚集上浮。蔗糖酯与单甘酯、大豆卵磷脂两两复配后有明显的协同增效作用, 但与微晶纤维素的协同效应不明显。二元乳化剂的复配比例对骨汤乳液的稠度、色泽和可接受度影响较大, 对香气及滋味影响较小, 影响作用与乳液稳定性相关。

**关键词:** 蔗糖酯; 二元复配乳化剂; 乳液稳定性; 感官品质

文章编号: 1673-9078(2024)01-240-248

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.1.0101

## Comparison of the Stability and Quality of Sucrose Ester Binary Emulsifiers on Compound Bone Broth Emulsion

HE Ziqiong, YANG Yang, ZHANG Liyan\*

(School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** To improve the emulsion stability and quality of compound bone broths, a sucrose ester was mixed with each of monoglycerides, soy lecithin, and microcrystalline cellulose to produce binary emulsifiers with different hydrophilic-lipophilic balance (HLB) values. The effects of various HLB values on the stability of the compound bone broth emulsions, the underlying causes, and the sensory quality of broth emulsions were studied. The results showed that when the HLB of sucrose ester+monoglyceride was 8, the zeta potential of the emulsion was -34.8 mV, viscosity was 8.91 Pa·s, and the average particle size was  $D_{[4,3]}$  (1 496 nm). When the HLB value of sucrose ester+soybean lecithin was 12, the zeta potential value of the emulsion was (-38 mV), viscosity was 8.94 Pa·s, and average particle size was  $D_{[4,3]}$  (725.1 nm). When the HLB value

引文格式:

贺紫琼,杨杨,张立彦.蔗糖酯二元复配乳化剂对复合骨汤乳液稳定性和品质的影响[J].现代食品科技,2024,40(1):240-248.

HE Ziqiong, YANG Yang, ZHANG Liyan. Comparison of the stability and quality of sucrose ester binary emulsifiers on compound bone broth emulsion [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(1): 240-248.

收稿日期: 2023-02-02

基金项目: 广州市重点研发计划项目 (202206010178)

作者简介: 贺紫琼 (1997-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工与保藏, E-mail: 741978912@qq.com

通讯作者: 张立彦 (1974-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工与保藏, E-mail: liyanzh@scut.edu.cn

of sucrose ester+microcrystalline cellulose was 10-12, the zeta potential of the emulsion was (-26.3 mV)~(-29.3 mV). All compound bone broth emulsions showed good emulsion stability. The stabilizing effect of the sucrose ester+soy lecithin binary emulsifier on compound bone broth emulsion was superior to that of the remaining two binary emulsifiers, resulting from a significant reduction in the diameter of emulsion droplets ( $P<0.05$ ), and increases in the surface charge density and emulsion viscosity. These changes ensured a more uniform dispersion of the droplets and they were less likely to agglomerate and float. A substantial synergistic effect was obtained when the sucrose ester was mixed with the monoglyceride or soybean lecithin, but not with microcrystalline cellulose. The mixing ratio of the binary emulsifiers considerably influenced the consistency, color, and acceptability of compound bone broth emulsions, whereas its effect on aroma and taste, which was related to emulsion stability, was relatively diminished.

**Key words:** sucrose ester; binary emulsifier; emulsion stability; sensory quality

工业骨类高汤因需求量大,能方便家庭及餐饮业长期、稳定使用而发展迅猛。经研究发现,骨汤中的成分及组成非常复杂,既包括可溶性蛋白质、游离氨基酸、多糖、脂肪等从骨和肉中迁移而出的食材原生成分,也有各成分间相互反应生成的新成分及新构造,例如各组分通过分子间次级键形成的微/纳米胶体粒子<sup>[1,2]</sup>。由于骨汤的组分及组成复杂,普遍存在乳化效果差、储藏易分层等问题<sup>[3]</sup>。如何促进骨汤中的水-油乳化,稳定各类粒子,提高骨汤的稳定性,是骨汤制品生产中亟待解决的技术难题。

食品乳化剂是食品中常用的食品添加剂,它能改善食品的口感及稳定性,加入乳化剂是提高骨汤稳定性、增加骨汤经济效益的有效措施,例如高浩源等<sup>[4]</sup>研究采用单硬脂酸甘油酯(单甘酯)、丙二醇脂肪酸酯、Span80和阿拉伯胶提高牛骨白汤的稳定性,发现添加质量分数0.8%丙二醇、质量分数0.7%单甘酯以及质量分数0.8%阿拉伯胶,可以使牛骨白汤的乳化度提高至0.92,乳化稳定性较好。相对国外而言,我国骨汤的工业化生产比较落后,对骨汤制备的研究多集中于原料特性、熬煮工艺、酶解增香及风味调配等方面,而使用乳化剂来提高骨汤乳化稳定性的研究相对较少<sup>[5-9]</sup>。

食品乳化剂能降低水油两相的表面张力使食品中不相溶的液体(如油与水)形成稳定的乳浊液,有离子型乳化剂、非离子型乳化剂及天然乳化剂等类型,品种多且应用广,在食品工业中起到重要作用<sup>[1]</sup>。但是,食品乳化剂单独使用时,由于性质或结构上的局限性,不能很好地稳定乳液,而且通常一种乳化剂只对应一个HLB值,无法满足复杂体系的需要,因此可将两种或多种乳化剂复配使用,共同发挥作用并获得协同效应<sup>[10]</sup>。例如,曾清清等

研究发现复配乳化剂——67.4%蔗糖酯-13+32.6%单甘酯-3.8可使鸡骨高汤的稳定性系数R值达到最大,乳化稳定性最好<sup>[11]</sup>。还有,如果将单、双甘油酯与蔗糖酯复配后控制HLB在8~9之间,可以使稀奶油的泡沫稳定性及涂抹性变好,产生的聚结及结晶性能也更好<sup>[12]</sup>。

乳化剂在复配时通常以乳化剂本身的HLB值为参考,将2个HLB值相差较大的非离子乳化剂复配,根据其添加质量分数计算得到总的HLB值。但是,不同的乳化剂进行复配即使得到相同或相近的HLB值,但实际的乳化效果可能存在较大差异<sup>[13]</sup>。因此,在食品中添加复配乳化剂时需要找出最适合的复合配比,才能更好的提高食品质量。本研究选择液体食品中常用的HLB 13的亲水性乳化剂——蔗糖酯,将其分别与亲油性非离子型小分子乳化剂单甘酯、两性离子型天然乳化剂大豆卵磷脂及多糖颗粒微晶纤维素两两复配,研究不同复配比例(HLB值)条件下,对复合骨汤乳液乳化稳定效果及感官品质的影响,并通过测定骨汤乳液中乳滴平均粒径 $D_{[4,3]}$ 及分布系数(Polydispersity Index, PDI)、Zeta电位、粘度等指标,分析复配乳化剂改善乳液稳定性的内在原因,为复配乳化剂在骨汤制品中的应用奠定基础。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

冷冻猪胫骨、鸡骨架,广州市泰东食品商行;玉米油,金龙鱼粮油食品股份有限公司;蔗糖酯(食品级,HLB值=13),分子蒸馏单甘酯(简称单甘酯,食品级,HLB值=3.8),大豆卵磷脂

(食品级, HLB 值=3.0), 微晶纤维素(食品级, HLB 值=7.0), 广东华盛食品有限公司。

## 1.2 仪器与设备

T18 高速分散机: 德国 IKA 公司; BSA224S 精密电子天平: 北京赛多利斯科学仪器有限公司; 752 型紫外分光光度计: 上海现科分光仪器有限公司; RE-52B 型旋转蒸发器: 上海青浦沪西仪器厂; H2050R 台式高速冷冻离心机: 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; NDJ-5S 型数显旋转粘度计, 河北惠采科技有限公司; Malvern Nano ZS 型动态光散射仪, 英国马尔文仪器有限公司; Malvern 2000 激光粒度散射仪, 英国马尔文仪器有限公司; DHG140B 电热鼓风干燥箱: 上海安亭科学仪器。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 复合骨汤乳液的制备

工艺说明: 复合骨汤经真空蒸发浓缩至可溶性固形物含量 25% (m/m) 左右, 得到复合骨汤浓缩液。玉米油的添加浓度为 20% (V/m), 按一定比例将乳化剂分别溶解于少量骨汤浓缩液或玉米油中, 混合分散后加入到骨汤浓缩液中, 通过高速分散机以 20 000 r/min 的速度剪切 3 min, 每剪切 1 min 后停止间隔 30 s, 得到所需浓缩骨汤乳液。在测定指标

前, 将浓缩骨汤乳液冲调稀释 50 倍, 得到复合骨汤乳液。

猪胫骨、鸡骨架→破碎→焯烫→熬煮→冷却→分离骨渣→复合骨汤→分离骨油→真空浓缩→乳化→复合骨汤浓缩乳液

↑

分离骨油、玉米油及乳化剂

### 1.3.2 蔗糖酯二元复配乳化剂对复合骨汤稳定效果的研究

蔗糖酯与单甘酯、大豆卵磷脂及微晶纤维素分别按照 HLB 值不同进行两两复配, 按 1.3.1 的方法制备乳液, 选择乳化剂质量分数为 1% (m/m), 研究复配乳化剂对复合骨汤乳液稳定性等指标的影响。

### 1.3.3 复配乳化剂 HLB 值的计算

两种乳化剂复配后的 HLB 值, 按照如下公式计算<sup>[1]</sup>:

$$H = H_A \times X + H_B \times Y \quad (1)$$

式中:

$H$ ——亲水亲油平衡值 (HLB);

$X$ ——乳化剂 A 占复配乳化剂总质量的百分比;

$Y$ ——乳化剂 B 占复配乳化剂总质量的百分比。

蔗糖酯与其他三种乳化剂两两复配比例如表 1 所示。

表 1 不同 HLB 值下复配乳化剂的配制比例 (%)

Table 1 The ratios of two emulsifications with various HLB values (%)

复配乳化剂 HLB 值	蔗糖酯 + 单甘酯		蔗糖酯 + 大豆卵磷脂		蔗糖酯 + 微晶纤维素	
	蔗糖酯	单甘酯	蔗糖酯	大豆卵磷脂	蔗糖酯	微晶纤维素
6	24	76	30	70	-	-
7	35	65	40	60	0	100
8	46	54	50	50	17	83
9	57	43	60	40	33	67
10	67	33	70	30	50	50
11	78	22	80	20	67	33
12	89	11	90	10	83	17
13	100	0	100	0	100	0

### 1.3.4 复合骨汤稳定性 R 值的测定

参考曾清清<sup>[1]</sup>的方法并稍作修改: 将浓缩骨汤乳液稀释 50 倍, 在波长 540 nm 处测量样品的吸光度  $A_0$ , 使用高速离心机在 5 000 r/min 条件下将稀释

乳液离心 10 min, 离心后在同一波长下测量样品的吸光度  $A_1$ , 平行测定三次并取平均值。乳液 R 值按如下公式计算, R 值大的乳液稳定性好。

$$R = \frac{A_1}{A_0} \quad (2)$$

式中:

$R$ —稳定系数;

$A_0$ —离心前样品的吸光度;

$A_1$ —离心后样品的吸光度。

### 1.3.5 复合骨汤乳液粒径和Zeta电位的测定

用超纯水将浓缩骨汤乳液稀释 50 倍, 使用 Malvern Nano ZS 型动态光散射仪和 Malvern 2000 激光粒度散射仪分别测定复合骨汤乳液中乳滴粒子的平均粒径  $D_{[4,3]}$  及粒径分布系数 PDI、Zeta 电位, 使遮蔽度小于 15% 以避免多重衍射效应。平行测定三次并取平均值。

### 1.3.6 复合骨汤乳液粘度的测定

将 1.3.1 中制备的复合骨汤乳液置于 NDJ-5S 型数显旋转粘度计中, 选取 1 号转子在转速 30 r/min 下测定乳液的粘度值。平行测定三次并取平均值。

### 1.3.7 复合骨汤乳液感官评定方法

邀请 15 名来自不同地区的食品专业人员, 经过培训后对稀释 50 倍后的复合骨汤乳液的可接受性、滋味、稠度、香气及颜色外观进行评定, 并按照表 2 中感官评分标准进行评分, 汇总后取平均值。采用双盲法对样品进行密码编号, 样品与顺序随机。

表 2 复合骨汤感官品质评分标准

Table 2 Sensory quality scoring criteria of compound bone broth

评价指标	色泽 (20 分)	香气 (20 分)	滋味 (20 分)	稠度 (20 分)	可接受度 (20 分)
优 (17~20)	牛奶般乳白色, 均匀稳定	浓郁、协调的骨汤香气	鲜味突出, 口感协调	稠度适中	受欢迎
中 (12~16)	色泽淡黄, 较均匀稳定	骨汤香气稍淡, 稍有异味	鲜味一般, 稍有苦味	稠度浓稠或稀薄	一般
差 (<12)	色泽灰暗或无色, 不均匀	具有腥味、豆香等异味	鲜味较差, 有苦味等异味	稠度太高或过于稀薄	很差

### 1.3.8 数据分析

采用 Excel 10 计算不同指标的数据, 以平均值 ± 标准差形式表示; Origin 2018 作图; 用 SPSS 12.0 对测定指标进行方差分析, 应用最小显著差异法 (Least Significant Difference Method, LSD) 进行多重比较, 分析不同样品间的差异显著性, 取 95% 置信度 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 蔗糖酯二元复配乳化剂对复合骨汤乳液稳定系数的影响

从图 1 可看出, 对于添加蔗糖酯-单甘酯二元复配乳化剂的情况, 随着复配乳化剂 HLB 值不断增大, 蔗糖酯的添加量逐渐增多, 复合骨汤乳液的  $R$  值先显著增大 ( $P < 0.05$ ) 而后逐渐减小。在复配乳化剂 HLB 值为 8 (蔗糖酯和单甘酯的质量比为 46%:54%) 时, 乳液具有最大  $R$  值 (0.87), 显著高于空白对照样 (纯骨汤,  $R$  值 = 0.48) 及其他复配 HLB 值及乳化剂单一使用时的情况 (蔗糖酯: 0.84, 单甘酯: 0.61), 此时乳液最稳定。与徐效圣等<sup>[14]</sup>的研究略有差异, 其研究表明蔗糖酯和单甘酯的质量比为 60%:40% 时, 核桃乳液油水体系最稳定, 所以食品体系成分不同会影响复配乳化剂的最适配比。

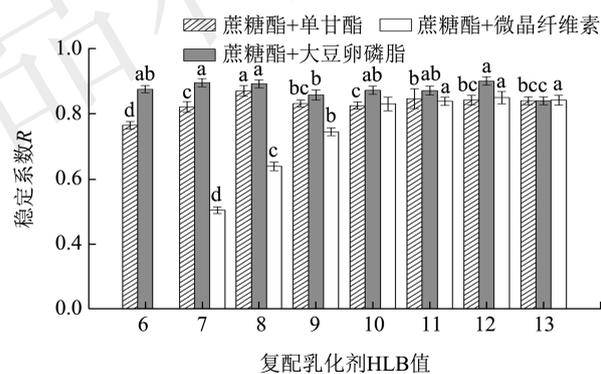


图 1 蔗糖酯二元复配乳化剂 HLB 值对复合骨汤乳液  $R$  值的影响

Fig.1 Effect of HLB value of sucrose ester binary compound emulsifier on  $R$  value of composite broth emulsion

注: 图中同一系列数据间小写字母不同, 表示有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 下同。

蔗糖酯与大豆卵磷脂进行复配时, 复合骨汤乳液的  $R$  值随复配乳化剂 HLB 值的变化较为平缓, 但总体呈现先下降后上升的趋势, 说明乳液的稳定性先下降而后升高。在复配乳化剂 HLB 值为 9 时乳液具有最小  $R$  值, 而在 HLB 值为 12 (蔗糖酯和大豆卵磷脂的质量比为 90%:10%) 时乳液  $R$  值最大 (0.90), 显著大于空白对照样及单独使用蔗糖酯 (HLB=13,  $R$ =0.84) 及大豆卵磷脂 ( $R$ =0.86) 时 ( $P < 0.05$ ), 说明两者复配存在协同增效作用。

微晶纤维素是一种直链式线性多糖，不溶于水，充分分散在水中后能与水分子之间通过氢键结合，形成均匀的三维网络结构，成为空间屏障<sup>[15]</sup>，从而在乳液中发挥乳化稳定作用。微晶纤维素的 HLB 值为 7，因此在图 1 中没有复配 HLB 值 6 时的数据。随着复配乳化剂 HLB 值逐渐升高，复合骨汤乳液  $R$  值先显著上升至 0.83 ( $P < 0.05$ )，之后虽逐渐增加但不明显 ( $P > 0.05$ )。也就是说，乳液最大  $R$  值与单独使用蔗糖酯 (HLB=13) 时差异不显著 ( $P > 0.05$ )。比较而言，与蔗糖酯复配后骨汤乳液的  $R$  值均显著大于单独使用微晶纤维素时的情况 ( $R=0.5$ ,  $P < 0.05$ )，表明蔗糖酯复配能够明显改善微晶纤维素的乳化能力，但两者之间的协同效应不明显。

## 2.2 蔗糖酯二元复配乳化剂对复合骨汤乳液粒径及分布系数的影响

一般地，在不考虑其他因素情况下，乳液中乳滴的粒径越小，乳液就越稳定，发生部分聚集的可能性越低<sup>[16]</sup>。表 3、表 4 中数据显示，添加蔗糖酯和单甘酯的乳液中乳滴平均粒径  $D_{[4,3]}$  及其分布系数 PDI 随复配乳化剂 HLB 值的增加先显著下降而后快速上升 ( $P < 0.05$ )，之后又逐渐下降，在复配乳化剂 HLB 为 8 时具有最小的平均粒径  $D_{[4,3]}$  (1 496 nm) 和 PDI 值 (0.25)，表明此条件下乳滴小且大小均匀，在乳液中能够很好地分散，彼此之间不容易碰撞发生沉淀聚集，对应较高的乳液  $R$  值 (0.87)。Tual 等<sup>[16]</sup>的研究也显示，在蔗糖酯和单甘酯的相互作用中，蔗糖酯比例的增多可以有效降低乳液的界面张力，乳滴相互之间的聚集减少，使得乳液的平均粒度变小，乳液稳定性提高。但当复配乳化剂 HLB 值超过 8 后，乳滴平均粒径  $D_{[4,3]}$  则表现为先增大然后基本保持稳定。蔗糖酯-单甘酯复配后乳液乳滴的粒径及分布系数均比单独添加时显著降低 (蔗糖酯:  $D_{[4,3]}$  2 034.4 nm, PDI 0.67; 单甘酯:  $D_{[4,3]}$  2 729.3 nm, PDI 0.61) ( $P < 0.05$ )。这是因为当蔗糖酯的含量较高时，可能超过了其临界胶束浓度，在乳液中团聚形成球状胶束，使得乳液的粒径变大，并导致其稳定性在蔗糖酯增多时反而下降 (图 1)。而对于单甘酯，因为对水的亲和力较弱，需破坏水分子间的氢键才能溶解，扩散到骨汤-油界面的速率较慢，乳滴不能及时被乳化剂覆盖而形成完整的界面膜，会使油滴聚集变大<sup>[17]</sup>。另外，从分子构象上来说，单

甘酯亲水基团为线性，而蔗糖酯的亲水基团为环状，搭配使用后存在构象互补现象，可以产生优势互补、互相增效的效果<sup>[18]</sup>。很多其他食品体系，例如调制乳饮料、植物蛋白饮料或稀奶油制品中也表现出这两种乳化剂协同增效的现象<sup>[17,19,20]</sup>。

表 3 蔗糖酯二元复配乳化剂 HLB 值对复合骨汤乳液平均粒径的影响

Table 3 Effect of HLB value of sucrose ester binary compound emulsifier on average particle size of composite broth emulsion

复配 乳化剂 HLB 值	平均粒径 $D_{[4,3]}$ /nm		
	蔗糖酯+ 单甘酯	蔗糖酯+ 大豆卵磷脂	蔗糖酯+ 微晶纤维素
6	1 949.3±55.1 <sup>b</sup>	813.5±24.3 <sup>d</sup>	-
7	1 651.2±52.3 <sup>d</sup>	842.3±15.8 <sup>cd</sup>	5 691.3±54.9 <sup>a</sup>
8	1 496.0±38.3 <sup>c</sup>	932.6±12.1 <sup>b</sup>	2 524.4±94.8 <sup>b</sup>
9	1 850.6±56.4 <sup>b</sup>	877.7±31.8 <sup>c</sup>	1 965.8±89.4 <sup>c</sup>
10	1 723.2±51.7 <sup>c</sup>	867.5±30.1 <sup>c</sup>	1 800.7±68.1 <sup>d</sup>
11	1 730.2±56.4 <sup>c</sup>	786.6±24.8 <sup>c</sup>	1 568.2±52.3 <sup>c</sup>
12	1 704.4±51.7 <sup>cd</sup>	725.1±16.4 <sup>f</sup>	1 367.1±48.9 <sup>f</sup>
13	2 034.4±26.5 <sup>a</sup>	2 034.4±26.5 <sup>a</sup>	2 034.4±26.5 <sup>c</sup>

注: 表中每一列中不同字母代表数据差异显著 ( $P < 0.05$ )，下同。

表 4 蔗糖酯二元复配乳化剂 HLB 值对复合骨汤乳液平均粒径分布系数的影响

Table 4 Effect of HLB value of sucrose ester binary compound emulsifier on average particle size distribution coefficient of composite bone broth emulsion

复配 乳化剂 HLB 值	粒径分布系数 (Polydispersity Index, PDI)		
	蔗糖酯+ 单甘酯	蔗糖酯+ 大豆卵磷脂	蔗糖酯+ 微晶纤维素
6	0.342±0.026 <sup>bc</sup>	0.623±0.026 <sup>c</sup>	-
7	0.315±0.019 <sup>c</sup>	0.627±0.016 <sup>c</sup>	-
8	0.252±0.012 <sup>d</sup>	0.758±0.025 <sup>a</sup>	0.443±0.017 <sup>b</sup>
9	0.268±0.046 <sup>cd</sup>	0.636±0.012 <sup>c</sup>	0.423±0.021 <sup>bc</sup>
10	0.353±0.015 <sup>bc</sup>	0.625±0.015 <sup>c</sup>	0.402±0.014 <sup>c</sup>
11	0.382±0.037 <sup>b</sup>	0.627±0.028 <sup>bc</sup>	0.392±0.012 <sup>c</sup>
12	0.344±0.015 <sup>bc</sup>	0.493±0.019 <sup>d</sup>	0.371±0.026 <sup>c</sup>
13	0.671±0.016 <sup>a</sup>	0.671±0.016 <sup>b</sup>	0.671±0.016 <sup>a</sup>

注: 微晶纤维素单独使用时 (HLB 值=7)，粒径太大且分布非常不均匀，无法测定粒径分布系数。

随着蔗糖酯与大豆卵磷脂复配 HLB 值逐渐增大，乳液中乳滴平均粒径  $D_{[4,3]}$  及粒径分布系数 PDI

值呈现先增大后减小的趋势。蔗糖酯是非离子型乳化剂，而大豆卵磷脂是两性离子型乳化剂，前者在乳液中吸附到液滴表面，通过增大空间位阻增加液滴之间的空间斥力，减少液滴的聚集以提高乳液的稳定性，而后者则在吸附到液滴表面后，通过增加液滴之间的静电斥力，减少液滴的聚集以提高乳液的稳定性<sup>[21]</sup>。随着蔗糖酯与大豆卵磷脂复配 HLB 值逐渐增大，蔗糖酯的添加量逐渐增大，会在油滴间形成微胶束，增强其在油滴表面的空间阻碍效应，有利于乳滴尺寸变小且易于分离分散<sup>[22]</sup>。与另外两组相比，蔗糖酯和大豆卵磷脂复配使用可使乳液乳滴的平均粒径最小达 725.1 nm (HLB 值 =12)，显著小于蔗糖酯和大豆卵磷脂单独添加时乳滴的平均粒径  $D_{[4,3]}$  为 2 034.4 nm 和 1 542.3 nm ( $P<0.05$ )。

随着蔗糖酯与微晶纤维素复配乳化剂的 HLB 值逐渐增大，蔗糖酯添加量增加，乳滴平均粒径  $D_{[4,3]}$  显著减小 ( $P<0.05$ )，最小可达到 1 367.1 nm (复配 HLB 值 12)，同时粒径 PDI 值也不断减小，说明乳液液滴逐渐变小且分散均匀，不容易聚集，乳液的稳定性逐渐增大，与图 1 所示趋势相对应。对比单独使用蔗糖酯 ( $D_{[4,3]}$  2 034.4 nm, PDI 0.67) 和微晶纤维素 ( $D_{[4,3]}$  5 691.3 nm, PDI 值无法测得) 时数据，说明复配乳化剂的乳化分散效果更优。

### 2.3 蔗糖酯二元复配乳化剂对复合骨汤乳液 Zeta 电位的影响

如图 2 所示，添加复配蔗糖酯 + 单甘酯的骨汤乳液，在 HLB 值为 8 时有最大的 Zeta 电位绝对值 (34.8 mV)，高于空白对照样 (-31.2 mV)，表明此时乳滴表面带电荷量较多，静电斥力较大，乳滴不易聚集或沉降，乳液易保持稳定。乳液整体的 Zeta 电位绝对值随复配乳化剂 HLB 值的变化并不是太大 (除 HLB 值 =8 外)，这可能是因为蔗糖酯和单甘酯都是非离子型乳化剂，主要通过亲油亲水基团吸附到乳滴表面，增加乳滴间的空间位阻以提高乳液的稳定性<sup>[23]</sup>。

大豆卵磷脂是一种两性离子型表面活性剂，在乳液中能解离而带有电荷，具有特殊的表面活性<sup>[21]</sup>，能够有序地排列在乳液的油 - 水界面上构成单层或者双层乳化层，或形成多层结构的封闭囊泡<sup>[24]</sup>。当蔗糖酯与大豆卵磷脂复配乳化剂 HLB < 9 时，随着 HLB 值逐渐减小，即大豆卵磷脂的比例增加而蔗糖酯减少时，乳滴 Zeta 电位绝对值显著变大 ( $P<0.05$ )，这是由于大豆卵磷脂在乳液中解离并吸附到乳滴表

面，从而明显提高了乳滴表面电荷量，并增加了乳滴之间的静电斥力，防止乳液液滴絮凝；当复配乳化剂 HLB > 9 后，随着 HLB 值逐渐提高，蔗糖酯添加量逐渐增多，Zeta 电位绝对值下降但变化幅度不及 HLB < 9 时的情况，说明此时蔗糖酯在液滴之间形成的空间斥力发挥了主要作用，使乳液稳定。

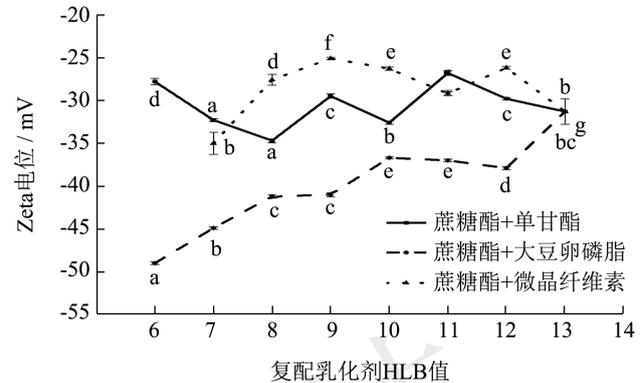


图 2 蔗糖酯二元复配乳化剂 HLB 值对复合骨汤乳液 Zeta 电位的影响

Fig.2 Effect of HLB value of sucrose ester binary compound emulsifier on Zeta potential of composite broth emulsion

图 2 显示，蔗糖酯和微晶纤维素复配乳化的骨汤乳液，其 Zeta 电位绝对值均小于 30 mV。随着复配 HLB 值逐渐减小，蔗糖酯添加量不断增加，乳滴表面电荷逐渐减少，静电斥力也逐渐减小。总的来说，蔗糖酯和微晶纤维素复配对乳液中乳滴表面电荷的影响不大，甚至显著低于单独使用时的情况 (蔗糖酯: -32.4 mV, 微晶纤维素: -35.1 mV) ( $P<0.05$ )。

### 2.4 蔗糖酯二元复配乳化剂对复合骨汤乳液粘度的影响

乳液粘度较大时，油滴之间由于阻力较大导致迁移率下降，降低相互碰撞聚结的几率，减少聚集<sup>[25]</sup>。纯骨汤及单独添加蔗糖酯、单甘酯、大豆卵磷脂及微晶纤维素后，复合骨汤乳液的粘度分别为 4.24、7.48、5.94、7.12 和 5.22 Pa·s。如表 5 所示，随着 HLB 值增加，添加 3 种复配乳化剂后乳液粘度均先增大后降低，然后再变大。这可能是因为蔗糖酯分子量较小且具有线性的亲水基团，在与其他乳化剂复配时，当其添加量逐渐增大并超过复配乳化剂的最佳配比后，过量的蔗糖酯附着在乳滴表面，形成较强的空间位阻并阻碍乳液流动，使测得的乳液粘度增大。

表 5 蔗糖酯二元复配乳化剂HLB值对复合骨汤乳液粘度的影响

Table 5 Effect of HLB value of sucrose ester binary compound emulsifier on viscosity of composite broth emulsion

复配 乳化剂 HLB 值	粘度/(Pa·s)		
	蔗糖酯+ 单甘酯	蔗糖酯+ 大豆卵磷脂	蔗糖酯+ 微晶纤维素
6	5.14±0.17 <sup>c</sup>	5.92±0.18 <sup>d</sup>	-
7	6.32±0.28 <sup>cd</sup>	6.21±0.12 <sup>c</sup>	5.22±0.13 <sup>d</sup>
8	8.91±0.09 <sup>a</sup>	7.42±0.23 <sup>d</sup>	8.81±0.23 <sup>a</sup>
9	7.04±0.16 <sup>bc</sup>	8.65±0.16 <sup>a</sup>	7.36±0.28 <sup>b</sup>
10	6.13±0.18 <sup>d</sup>	7.08±0.21 <sup>c</sup>	7.64±0.12 <sup>b</sup>
11	6.94±0.22 <sup>bc</sup>	8.74±0.24 <sup>a</sup>	6.37±0.24 <sup>c</sup>
12	6.74±0.21 <sup>c</sup>	8.94±0.19 <sup>a</sup>	6.77±0.15 <sup>c</sup>
13	7.28±0.12 <sup>b</sup>	7.28±0.12 <sup>b</sup>	7.48±0.12 <sup>b</sup>

蔗糖酯与单甘酯复配后，在 HLB 值为 8 时骨汤乳液粘度值达到最大值 (8.91 Pa·s)，表明此时乳滴之间粘度较大，乳滴不易聚集，乳液易保持稳定状态。高浩源等<sup>[4]</sup>研究发现添加质量分数 0.6% 单甘酯的牛骨汤的表观粘度显著增加，单甘酯能增加牛骨汤的粘性模量，减小其流动能力。在蔗糖酯和大豆卵磷脂的 HLB 值 9~12 范围内乳液粘度均较大，高于添加另外 2 种二元复配乳化剂乳液的粘度。这是因为蔗糖酯和大豆卵磷脂两种乳化剂优势互补，复配使用后乳液乳滴之间同时存在较大的空间斥力和静电斥力<sup>[21]</sup>，使得乳滴的粒径较小且数量多，阻碍乳液流动而导致粘度变大。

添加蔗糖酯和微晶纤维素的乳液粘度随复配乳化剂 HLB 值增大而逐渐下降，在 HLB 值为 11 时，粘度降至 6.37 Pa·s。微晶纤维素乳化性能不是通过增大乳液中乳滴表面的静电斥力或乳液粘度，以此增加液滴之间的运动阻力来实现。当其分散在水中时，与水通过氢键形成三维网络结构，从而防止乳滴沉降以及乳滴重聚，达到稳定乳液的效果。因此，在微晶纤维素中加入蔗糖酯进行复配，蔗糖酯能够迅速吸附到乳液表面，在油相和水相中展开，增大液滴之间的空间斥力，同时微晶纤维素通过高速剪切产生的弱凝胶妨碍液滴的运动聚集，以此来改善乳液的稳定性<sup>[26]</sup>。

### 2.5 蔗糖酯二元复配乳化剂对复合骨汤乳液感官评价的影响

如图 3、4、5 所示，三种二元复配乳化剂的 HLB 值对复合骨汤乳液的稠度、色泽和可接受度影响较大，对香气及滋味影响相对较小。对于复配添

加蔗糖酯+大豆卵磷脂、蔗糖酯+微晶纤维素的复合骨汤乳液，随着复配乳化剂 HLB 值增大，骨汤的可接受度逐渐升高，在 HLB 值为 12 时骨汤乳液感官评分值最高。而在蔗糖酯与单甘酯复配 HLB 8 时，骨汤乳液感官评分值最高。骨汤乳液色泽评分值也具有类似的变化规律。这是因为在相应的复配比例下，当乳液中乳滴粒径小，乳滴分散均匀且稳定性强时，形成的复合骨汤乳液折光率强，表现出均匀的乳白色泽，色泽评分较高。随着蔗糖酯+大豆卵磷脂复配 HLB 值增加，骨汤乳液各项感官评分均不断上升，这与乳液乳化分散均匀稳定相关。但是，单甘酯略带苦味、大豆卵磷脂带有大豆的香气与滋味，随其添加比例逐渐升高（复配 HLB 值减小），会破坏复合骨汤原有的风味，使复合骨汤的香味和滋味反倒有所下降。

从图 3~5 还可以发现，蔗糖酯与其他三种乳化剂复配后，骨汤乳液的感官评分均高于其单独使用（图中 HLB 13 时均为蔗糖酯单独，图 5 中 HLB 7 时为微晶纤维素单独使用）时的情况，说明上述三种二元复配乳化剂对骨汤的乳化及稳定具有突出作用。

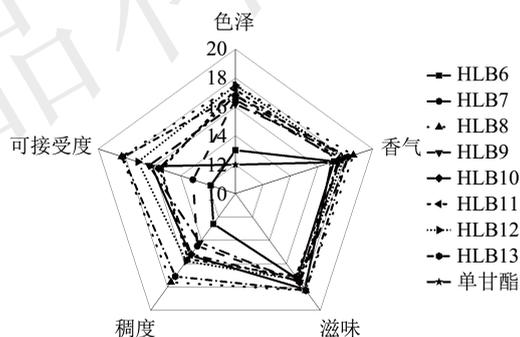


图 3 蔗糖酯+单甘酯复配乳化剂对复合骨汤乳液感官评价的影响

Fig.3 Effect of sucrose ester + monoglyceride compound emulsifier on sensory evaluation of composite broth emulsion

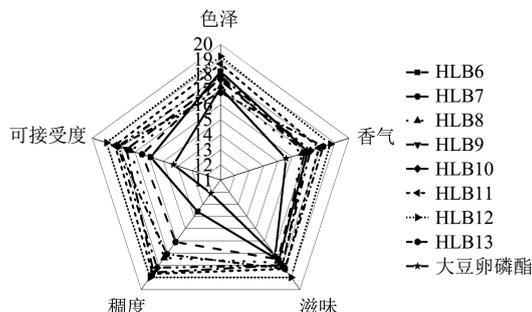


图 4 蔗糖酯+大豆卵磷脂复配乳化剂对复合骨汤乳液感官评价的影响

Fig.4 Effect of sucrose ester + soy lecithin compound emulsifier on sensory evaluation of composite broth emulsion

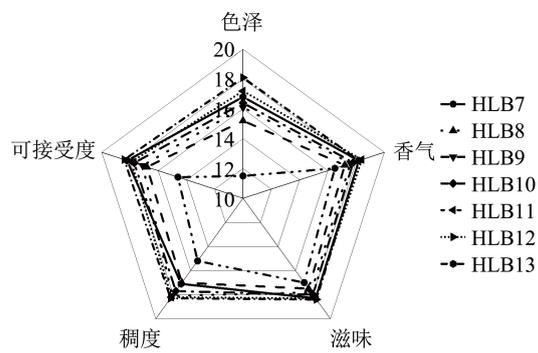


图5 蔗糖酯+微晶纤维素复配乳化剂对复合骨汤乳液感官评价的影响

Fig.5 Effect of sucrose ester + microcrystalline cellulose compound emulsifier on sensory evaluation of composite broth emulsion

### 3 结论

蔗糖酯分别与单甘酯、大豆卵磷脂复配后有较明显的协同增效作用，但与微晶纤维素的协同效应不明显。蔗糖酯与单甘酯复配 HLB 为 8（复配比例 46%:54%）时，或蔗糖酯和大豆卵磷脂在复配 HLB 值 12（复配比例 90%:10%）时，或蔗糖酯与微晶纤维素复配 HLB 值在 9~12 之间时，骨汤乳液均表现出良好的乳化稳定性。3 种蔗糖酯二元复配乳化剂中蔗糖酯与大豆卵磷脂复配对骨汤稳定效果最优，其复配后可以明显降低乳液中乳滴粒径，增大乳滴表面的电荷量和乳液的粘度，使乳滴相互之间同时存在较大的空间斥力和静电斥力，从而在乳液中分散性好且不容易聚集上浮，对乳液的稳定效果优于其它 2 组二元乳化剂组合。

复配乳化剂的 HLB 值对复合骨汤乳液的稠度、色泽和可接受度影响较大，对香气及滋味影响较小。在蔗糖酯+大豆卵磷脂、蔗糖酯+微晶纤维素复配 HLB 值为 12 时，或在蔗糖酯与单甘酯复配 HLB8 时，骨汤乳液感官评分值最高。研究结果可以确定复合骨汤中常用食品乳化剂的复配比例，为改善复合骨汤的乳化特性及综合品质奠定基础，对开发高汤制品并推广其应用具有较强的参考价值。

### 参考文献

- 何蕾.猪骨汤微纳米胶粒构造对胶体特性及其生物活性的影响[D].杭州:浙江工商大学,2018.
- 禄彦科.猪骨汤微纳米胶粒的形成、化学性质及其初步分离[D].杭州:浙江工商大学,2016.
- 卫云云.牛骨汤及骨汤颗粒产品的工艺优化[D].太谷:山西农业大学,2019.
- 高浩源,李苗云,赵莉君,等.不同乳化剂对牛骨白汤稳定性的影响[J].河南农业大学学报,2022,56(2):290-300.
- 孙亚军,张艳杰,赵会.畜禽骨加工利用及其骨汤工艺开发现状[J].肉类工业,2019,12:52-56.
- 杨平,王瑶,宋焕禄,等.不同熬制条件下猪肉汤中滋味成分的变化[J].中国食品学报,2018,18(12):247-260.
- 雷丁.预制调理猪骨高汤的研制[D].长沙:湖南农业大学,2019.
- 郑少斌,童灿浩,陈姝,等.煲汤器皿对食品炖煮过程流场的影响[J].农业工程,2020,10(11):52-57.
- 谢晓飞.原料肉冻藏时间对鸡汤风味的影响[D].马鞍山:安徽农业大学,2020.
- 程宝宝.食品乳化剂复配在食品生产中的应用[J].食品安全导刊,2021,24:133,135.
- 曾清清.鸡骨高汤生产关键工艺的研究[D].广州:华南理工大学,2014.
- 王吉栋,郑远荣,刘振民,等.复配乳化剂HLB值对稀奶油脂肪聚结及结晶的影响[J].食品科学,2022,43(12):107-113.
- REBIHA M, HADJSADOK A. Investigations of the effects of xanthan and sodium caseinate on the formation and stability of an oil-in-water emulsion stabilized by a nonionic surfactant using a response surface method [J]. Journal of Dispersion Science & Technology, 2012, 33(3): 429-436.
- 徐效圣,张志强,许铭强,等.乳化剂和增稠剂对核桃乳饮料稳定性的影响[J].中国食品添加剂,2013,117(2):219-223.
- TANG J, SISLER J, GRISHKEWICH N, et al. Functionalization of cellulose nanocrystals for advanced applications [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2017, 494: 397-409.
- TUAL A, BOURLES E, BAREYA P, et al. Effect of surfactantsucrose ester on physical properties of dairy whipped e-mulsions in relation to those of O/W interfacial layers [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2006, 295: 496-497.
- 王吉栋,郑远荣,刘振民,等.复配乳化剂HLB值对稀奶油脂肪聚结及结晶的影响[J].食品科学,2022,43(12):107-113.
- 付红菊,刘玮.食品乳化剂复配在食品生产中的应用[J].黑龙江科技信息,2012,3:76,269.
- 孙月娥,金晓芳.复合添加剂在搅拌型银杏大枣酸奶加工中的应用[J].食品工业,2012,33(1):74-76.
- 龙肇,赵强忠,赵谋明.单甘酯和蔗糖酯复配比例对核桃乳稳定性的影响[J].食品与发酵工业,2009,5:181-184.

- [21] WANG M, YAN W, ZHOU Y, et al. Progress in the application of lecithins in water-in-oil emulsions [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 118(Part A): 388-398.
- [22] LIU Y, BINKS B P. A novel strategy to fabricate stable oil foams with sucrose ester surfactant [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2021, 594(15): 204-216.
- [23] GOLODNIZKY D, DAVIDOVICH-PINHAS M. The effect of the HLB value of sucrose ester on physiochemical properties of bigel systems [J]. Foods, 2020, 9(12): 1857-1877.
- [24] 李菊芳,吕莹,徐婧婷,等.磷脂-大豆分离蛋白复合物溶液理化与流变特性[J].农业机械学报,2013,44(8):207-212.
- [25] 谈文诗,欧凯,刘冠辰,等.高蛋白饮用型酸乳体系中微粒化乳清蛋白和物理改性淀粉对稳定性的影响[J].乳业科学与技术,2020,43(1):1-4.
- [26] SHAHBAZI M, JÄGER H, ETTELAIE R. Development of an antioxidative pickering emulsion gel through polyphenol-inspired free-radical grafting of microcrystalline cellulose for 3d food printing [J]. Biomacromolecules, 2021, 22(11): 4592-4605.