

牡丹籽油微乳液的制备及其性质研究

杨晨¹, 韩瑞¹, 孔凡¹, 雷芬芬^{1,2,3}, 何东平^{1,2,3}, 罗质^{1,2,3}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 武汉 430023; 2. 国家粮食局粮油资源综合开发工程技术研究中心, 武汉 430023; 3. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 武汉 430023)

摘要: 采取相转变法和拟三元相图法制备牡丹籽油微乳液, 从不同表面活性剂、亲水亲油平衡值 (HLB 值)、助表面活性剂中筛选最佳组分以确定制备牡丹籽油微乳液的体系组成。同时, 通过单因素试验和正交试验优化牡丹籽油微乳液的制备条件。结果表明: 牡丹籽油微乳液的体系组成为牡丹籽油/Tween 80/ Span 80/无水乙醇/水; 最优的制备条件为制备温度 25℃, 以 Tween 80 与 Span 80 (质量比为 6:4) 为混合表面活性剂 (HLB 值为 11), 混合表面活性剂与助表面活性剂无水乙醇比例 (Km) 为 1:1, 先将混合表面活性剂相与牡丹籽油混合均匀, 再逐滴加水。在最优条件下, 随着加水量的增加, 得到的牡丹籽油微乳液结构以 W/O 型向双连续相再到 O/W 型转变, 最终得到的牡丹籽油微乳液为微黄澄清透明状液体, 粒径为 (40.63 ± 1.77) nm, 多分散系数稳定在 0.218 ± 0.003 , 电导率为 (681.75 ± 19.15) mS/cm。同时发现, 低浓度盐离子 (≤ 1.0 mol/L) 的存在可以促进牡丹籽油微乳液的形成, 但盐离子浓度过高 (≥ 1.5 mol/L) 时会抑制微乳液的形成。

关键词: 牡丹籽油微乳液; 拟三元相图; 滴水法

中图分类号: TS225.1; TS221 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)06-0059-07

Preparation and properties of peony seed oil microemulsion

YANG Chen¹, HAN Rui¹, KONG Fan¹, LEI Fenfen^{1,2,3},
HE Dongping^{1,2,3}, LUO Zhi^{1,2,3}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;
2. Grain and Oil Resources Comprehensive Exploitation and Engineering Technology Research
Center of State Administration of Grain, Wuhan 430023, China; 3. Key Laboratory of Deep
Processing of Major Grain and Oil, Ministry of Education, Wuhan 430023, China)

Abstract: The peony seed oil microemulsion was prepared by phase change observation method and pseudo-ternary phase diagram method. Different surfactants, hydrophilic-lipophilic balance (HLB) value and co-surfactant were studied to determine the composition of peony seed oil microemulsion. Then the preparation conditions of peony seed oil microemulsion were optimized through single factor experiment and orthogonal experiment. The results showed that the system composition of peony seed oil microemulsion was determined as peony seed oil/Tween 80/ Span 80/ anhydrous ethanol/ water. The optimal preparation conditions were obtained as follows: temperature 25℃, Tween 80 and Span 80 (mass ratio 6:4) as the mixed surfactant, mixed surfactant HLB value 11, ratio of mixed surfactant to co-surfactant 1:1; the order of addition was to first mix the mixed surfactant and peony seed oil, then adding water dropwise. Under the optimal conditions, the conformation of the microemulsion changed from W/O to bicontinuous (BC) first then to O/W with the adding of water; the appearance of the prepared peony seed oil microemulsion was a pale yellow transparent liquid, and the particle size was (40.63 ± 1.77) nm, the

收稿日期: 2020-03-18; 修回日期: 2021-03-10

作者简介: 杨晨 (1996), 女, 在读硕士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白 (E-mail) 2547243071@qq.com。

通信作者: 雷芬芬, 讲师, 博士 (E-mail) fiona_lei@126.com。

polydispersity coefficient was stable at 0.218 ± 0.003 , the conductivity was (681.75 ± 19.15) mS/cm. It was also found that the presence of low concentration of salt ions (≤ 1.0 mol/L) could

promote the formation of peony seed oil microemulsion, but excessively high salt ions (≥ 1.5 mol/L) inhibited the formation of microemulsion.

Key words: peony seed oil microemulsion; pseudo-ternary phase diagram; drip method

微乳液是指由水、油、表面活性剂,通常还有助表面活性剂形成的宏观均匀分散体。它们是光学各向同性的,透明且液滴粒径小于 100 nm。相对于常规的乳化液,微乳液的液滴粒径更小,具有更好的分离稳定性。其次,微乳液的颗粒仅有微弱的散射光波,因此微乳液适合掺入需要光学透明或仅略微混浊的产品中^[1]。近年来,微乳液因具有增溶功能性油脂和维生素等疏水性化合物,且能通过胃肠道中的快速释放来提高吸收的能力^[2-3]等特点,在食品和制药行业引起关注。

牡丹籽油是一种木本食用油,具有较高的营养价值。牡丹籽油不饱和脂肪酸含量达 90% 左右,主要为油酸、亚油酸和亚麻酸,其中 α -亚麻酸含量超过 40%^[4]。 α -亚麻酸作为人体必需脂肪酸,具有降低血脂、血压,改善心血管疾病,提高记忆力,保护神经组织,预防过敏性疾病,抑制肿瘤细胞转移,延缓衰老等功能^[5],但其极易发生氧化,难以应用在一些需要高温加热、高温杀菌或长期放置在空气中的食品上^[6]。目前,对牡丹籽油的研究主要集中于提取工艺、脂肪酸组成、氧化稳定性及影响因素、功能评价等方面,在食品领域的应用还尚未开发。

牡丹籽油微乳液的制备既可以充分利用牡丹籽油的营养价值,在保证其所含的营养物质得到有效保护的同时,又可改善添加困难的问题,因此牡丹籽油微乳液的制备对生产实践具有重要的理论与指导意义。本文以牡丹籽油为油相,研究牡丹籽油微乳液的配方组成以及制备工艺对牡丹籽油微乳液形成的影响,并对其性质进行了研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

牡丹籽油,神农丰源湖北国际农业有限公司。

去离子水;Tween 20、Tween 80、Span 40、Span 80、无水乙醇、正丁醇、正己醇、正辛醇,上海麦克林生化科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

FA2104N 电子天平,上海民桥精密科学仪器有限公司;FS-1 集热式恒温磁力搅拌器,巩义市英峪予华仪器有限责任公司;FE30-K 电导率仪,梅特勒托利多仪器有限公司;Zetasizer-Nano ZS 马尔文

激光粒度仪,上海思百吉仪器系统有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 牡丹籽油微乳液的制备

采用相转变法制备牡丹籽油微乳液。称取一定量牡丹籽油、表面活性剂与助表面活性剂,按表面活性剂相(含助表面活性剂)与牡丹籽油质量比分别为 1:9、2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、6:3、8:2、9:1 混匀后,置于磁力搅拌器中,在 25℃ 下,向混合物中滴加水相,一边滴加一边观察体系状态,当体系由澄清变为浑浊或由浑浊变为澄清时,记录各组分质量,绘制拟三元相图并计算微乳区面积,同时根据外观分级。

1.2.2 牡丹籽油微乳液外观分级

基于分散速率和每种乳液的宏观外观的视觉分级系统,确定 4 个级别:Ⅰ级,形成乳液,外观澄清透明(81~100 分);Ⅱ级,乳白色乳液,外观略带油性(61~80 分);Ⅲ级,淡灰色乳液,乳化时有凝胶出现(31~60 分);Ⅳ级,乳化不良或极少乳化,表面有大油球(0~30 分)。

1.2.3 牡丹籽油微乳液粒径和分散系数测定

将制备的牡丹籽油微乳液稀释 10 倍,缓慢注入干净的样品池中尽量避免气泡的产生,样品池装样高度在 10~15 mm 之间,再置于预热 30 min 的马尔文激光粒度仪中测试粒径和分散系数。测定参数:黏度 0.787 3 mPa·s,散射角 90°,吸光度 0.050,分散相为水,平衡时间 3 min,重复测定 3 次。

1.2.4 牡丹籽油微乳液类型的鉴定

电导行为是区分微乳液体系的微乳类型的经典方法^[7]。在牡丹籽油微乳液最优制备条件下,按 1.2.1 方法,每次向表面活性剂相与牡丹籽油混合物体系中滴加 0.5 mL 的去离子水,测定电导率的变化。

1.2.5 盐离子浓度对微乳液形成的影响

在牡丹籽油微乳液最优制备条件下,按 1.2.1 方法向混合表面活性剂、助表面活性剂和牡丹籽油的混合物中分别滴加 0.5、1.0、1.5、2.0 mol/L 的 NaCl 溶液制备牡丹籽油微乳液,绘制拟三元相图,比较不同的盐离子浓度对微乳液形成的影响。

1.2.6 数据处理

数据分析采用 SPSS19.0 和 Microsoft Excel 2010,运用 Origin 2018 绘制拟三元相图并计算微乳区面积。数据以“均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 牡丹籽油微乳液体系组成的确定

2.1.1 单一表面活性剂的筛选

分别以 Tween 20、Tween 80、Span 40、Span 80 为表面活性剂,无水乙醇为助表面活性剂,固定表面活性剂与助表面活性剂的比例(Km)为 1:1,按照 1.2.1 方法制备牡丹籽油微乳液,通过 1.2.2 的评价指标考察表面活性剂对牡丹籽油微乳液形成的影响。结果发现,4 种表面活性剂中以 Tween 80 的乳化效果最优,在表面活性剂相与牡丹籽油质量比为 2:8、3:7、4:6 时可形成外观澄清透明的微乳液,且出现凝胶状态的情况较少,其次是 Span 80, Tween 20 和 Span 20 的乳化效果较差。同时试验发现, Tween 20 与 Span 20 比较黏稠,在制备牡丹籽油微

乳液的过程中容易出现凝胶状态,而 Tween 80 和 Span 80 不易形成凝胶,且 Tween 80 可以吸附更多的水分子,Span 80 可吸附更多的油分子,在考虑可以增溶更多的水和油的条件下,选择对 Tween 80 和 Span 80 进行复配。

2.1.2 混合表面活性剂的考察

以 Tween 80 和 Span 80 配制亲水亲油平衡(HLB)值分别为 10、11、12、13、14 的混合表面活性剂(HLB 值计算方法参照文献[8]),选取无水乙醇为助表面活性剂,Km 值为 1:1,按照 1.2.1 方法制备牡丹籽油微乳液,通过 1.2.2 的评价指标考察混合表面活性剂 HLB 值对牡丹籽油微乳液形成的影响,结果见表 1。

表 1 不同 HLB 值混合表面活性剂对微乳液形成的影响

HLB 值	不同表面活性剂相与牡丹籽油质量比下微乳液外观								
	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4	7:3	8:2	9:1
10	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅲ级
11	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅱ级
12	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅰ级
13	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅰ级	Ⅰ级	Ⅳ级
14	Ⅳ级	Ⅱ级	Ⅳ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅰ级	Ⅲ级	Ⅲ级

当表面活性剂相的亲水亲油特性达到平衡时,即当表面活性剂层的曲率为零时,能产生外观澄清透明的微乳液体系^[9]。由表 1 可看出:当混合表面活性剂的 HLB 值为 10 时,在表面活性剂相与牡丹籽油质量比为 8:2 时,可形成微乳液;当混合表面活性剂的 HLB 值为 11 时,在表面活性剂相与牡丹籽油质量比为 6:4、7:3、8:2 时,可形成外观澄清透明的微乳液,且不易出现凝胶状态;当混合表面活性剂的 HLB 值为 12 时,在表面活性剂相与牡丹籽油质量比为 7:3、8:2、9:1 时,可形成外观澄清透明的微乳液;当混合表面活性剂的 HLB 值为 13 时,在表面活性剂相与牡丹籽油质量比为 7:3、8:2 时,可形成外观澄清透明的微乳液;当混合表面活性剂的 HLB 值为 14 时,在表面活性剂相与牡丹籽油质量比为 7:3 时,形成外观澄清透明的微乳液。考虑到用较低的表面活性剂含量形成体系状态更好的微乳液,最大量增溶,乳化效果良好,避免制备时出现凝胶区,因此选择 HLB 值为 11 的混合表面活性剂,即 Tween 80 与 Span 80 按照质量比为 6:4 进行复配。

2.1.3 助表面活性剂的筛选

分别以无水乙醇、正丁醇、正己醇、正辛醇为助表面活性剂, Tween 80 和 Span 80(质量比 6:4)为表面活性剂,固定 Km 值为 1:1,按照 1.2.1 的方法制

备牡丹籽油微乳液,以不添加助表面活性剂的牡丹籽油微乳液为对照,考察助表面活性剂对牡丹籽油微乳液的影响,结果如图 1 所示。

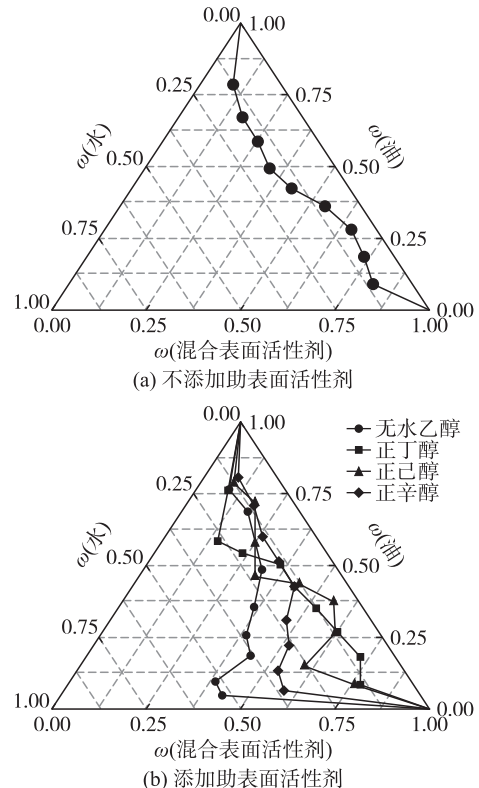


图 1 不添加/添加助表面活性剂的牡丹籽油微乳液拟三元相图

由图1可看出,用无水乙醇、正丁醇、正己醇、正辛醇作为助表面活性剂的微乳区面积分别为23.12%、13.05%、12.60%、16.39%(以总面积为1计,下同);比不添加助表面活性剂的微乳区面积(10.66%)大。说明助表面活性剂的加入有明显的增溶效果,其中用无水乙醇作为助表面活性剂增溶效果最明显。这是因为助表面活性剂可嵌入表面活性剂分子之间,与表面活性剂共同构成界面膜,分布在互不相溶的两种液体的接触界面上,改变界面膜的曲率,增加界面流动性,进而增大微乳区的面积和微乳液的稳定性^[10]。

综合2.1.1~2.1.3结果,确定牡丹籽油微乳液的体系组成为牡丹籽油/Tween 80/Span 80/无水乙醇/水。

2.2 制备工艺条件对牡丹籽油微乳液形成的影响

2.2.1 单因素试验

以Tween 80与Span 80为混合表面活性剂(HLB值为11),无水乙醇为助表面活性剂,在表面活性剂相与牡丹籽油质量比为8:2时,考察 K_m ,牡丹籽油、水、表面活性剂相添加顺序和制备温度对牡丹籽油微乳液的影响。

2.2.1.1 K_m 值的影响

在制备温度25℃、混合表面活性剂HLB值为11、无水乙醇为助表面活性剂条件下,不同 K_m 的牡丹籽油微乳液的拟三元相图如图2所示。

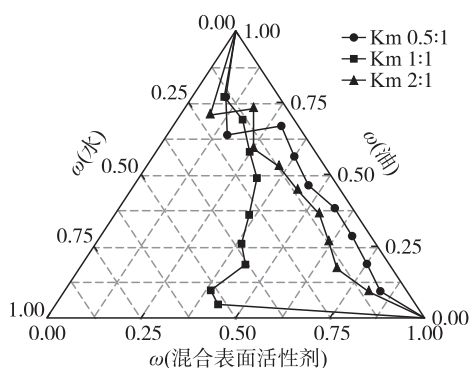


图2 不同 K_m 的牡丹籽油微乳液拟三元相图

由图2可看出,当 K_m 为0.5:1、1:1、2:1时,微乳区面积分别为7.32%、23.12%、11.13%。说明当 K_m 为1:1时,混合表面活性剂与无水乙醇的结合更为紧密均匀,所形成的界面膜曲率最小,流动性最大,表现为增溶效果最好。因此,最佳的 K_m 选择1:1。

2.2.1.2 添加顺序的影响

在制备温度25℃、 K_m 为1:1条件下,向一定比例的牡丹籽油/表面活性剂相、表面活性剂相/水、牡丹籽油/水中,分别逐滴滴加水、牡丹籽油、混合表面活性剂(包括助表面活性剂),即滴水法、滴油法、滴

表面活性剂法^[11]。观察并记录体系由澄清变浑浊或由浑浊变澄清的临界值,绘制拟三元相图,计算微乳区面积,考察添加顺序对微乳液形成的影响,结果如图3所示。

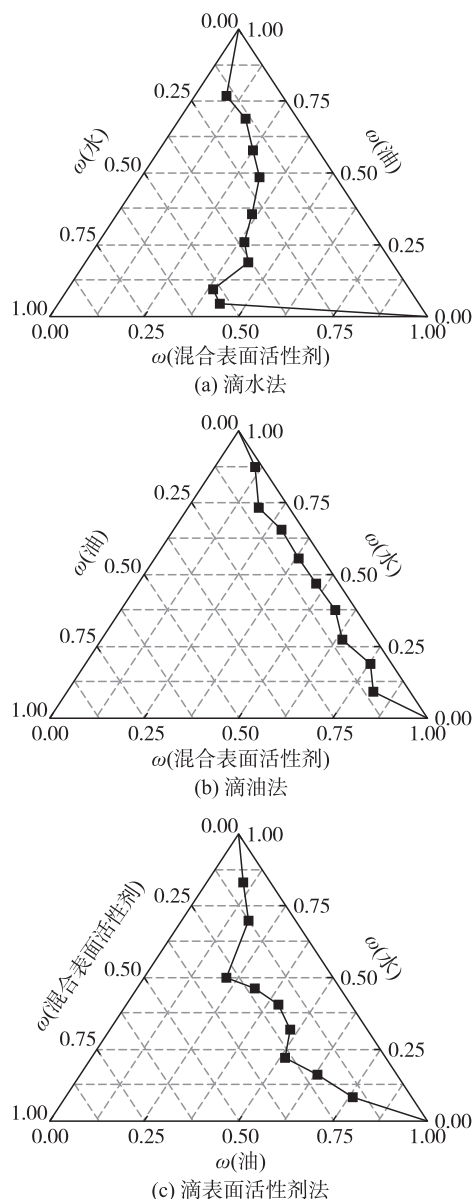


图3 不同添加顺序下的牡丹籽油微乳液拟三元相图

由图3可看出,滴水法形成的微乳区面积最大,约为23.12%,滴表面活性剂法形成的微乳区面积次之,约为15.68%,滴油法形成的微乳区面积最小,为5.77%。因此,选择滴水法进行牡丹籽油微乳液的制备。

2.2.1.3 制备温度的影响

在混合表面活性剂HLB值为11、无水乙醇为助表面活性剂、 K_m 为1:1条件下,不同制备温度下的牡丹籽油微乳液拟三元相图如图4所示。由图4可看出,随着制备温度的升高,微乳区面积逐渐缩小。在25、45、65℃下形成的微乳区面积分别为23.12%、

14.06%、11.43%。因此,选择 25℃ 为牡丹籽油微乳液的制备温度,此时可达到最大的增溶效果。

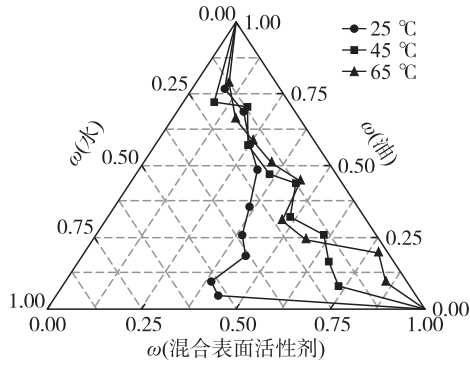


图4 不同温度下的牡丹籽油微乳液拟三元相图

2.2.2 正交试验

在单因素试验的基础上,采用滴水法制备牡丹籽油微乳液,选取混合表面活性剂的 HLB 值(A)、Km(B)、制备温度(C)为因素,微乳区面积(Y_1)、粒径(Y_2)及分级评分(Y_3)为考察对象进行四因素三水平的正交试验。正交试验因素水平见表2,正交试验结果见表3。

表2 正交试验因素水平

水平	A HLB 值	B Km	C 制备温度/℃
1	10	0.5:1	5
2	11	1:1	25
3	12	2:1	45

表3 正交试验结果

试验号	A	B	C	Y_1 /%	Y_2 /nm	Y_3
1	1	1	1	20.1	36.1	81.5
2	1	2	2	29.3	45.1	91.4
3	1	3	3	21.2	41.5	81.2
4	2	1	2	34.7	44.9	95.3
5	2	2	3	34.0	36.3	93.1
6	2	3	1	29.1	43.1	87.6
7	3	1	3	26.2	40.2	79.9
8	3	2	1	27.1	41.3	83.6
9	3	3	2	28.5	54.4	86.8

微乳区面积

K_1	70.6	81.0	76.3
K_2	97.8	90.4	92.5
K_3	81.8	78.8	81.4
R	27.2	11.6	16.2

粒径

K_1	122.7	121.2	120.5
K_2	124.3	122.7	144.4
K_3	135.9	139.0	118.0
R	13.2	17.8	26.4

续表3

分级评分			
K_1	254.1	256.7	252.7
K_2	276.0	268.1	273.5
K_3	250.3	255.6	254.2
R	25.7	12.5	20.8

由表3 可看出:对于微乳区面积,各因素影响排序为 $A > C > B$;对于粒径,各因素影响排序为 $C > B > A$;对于微乳液分级评分,各因素影响排序为 $A > C > B$ 。微乳区面积最优方案为 $A_2B_2C_2$,粒径的最优方案为 $A_1B_1C_3$,分级评分的最优方案为 $A_2B_2C_2$ 。对试验方案进行进一步验证,结果见表4。

表4 验证试验结果

试验方案	微乳区面积/%	粒径/nm	分级评分
$A_1B_1C_3$	28.5	54.4	86.8
$A_2B_2C_2$	34.8	45.3	96.2

由表4 可知,最优方案为 $A_2B_2C_2$,即混合表面活性剂 HLB 值为 11、Km 为 1:1,制备温度为 25℃,在此条件下所得的牡丹籽油微乳液微乳区面积为 34.8%,粒径为 45.3 nm,分级得分为 96.2 分。

2.3 牡丹籽油微乳液的理化性质

在最优工艺条件下进行 8 批次重复试验,测定所得微乳液理化性质,结果见表5。

表5 牡丹籽油微乳液的理化性质

样品编号	粒径/nm	多分散系数	电导率/(mS/cm)
1	39	0.214	683
2	42	0.220	665
3	43	0.223	642
4	38	0.218	692
5	39	0.215	691
6	41	0.221	692
7	42	0.216	688
8	41	0.218	701

注:电导率由电导率仪测定;微乳液均为微黄澄清透明液体。

由表5 可看出,8 次试验得到的牡丹籽油微乳液为微黄澄清透明状液体,粒径为 (40.63 ± 1.77) nm,多分散系数稳定在 0.218 ± 0.003 ,电导率为 (681.75 ± 19.15) mS/cm。

2.4 牡丹籽油微乳液类型的鉴定

按 1.2.4 方法,考察牡丹籽油微乳液电导率随含水量的变化,结果如图5 所示。由图5 可看出,在含水量小于 34%时,电导率变化不大,含水量超过 34%时,电导率急剧升高,含水量在 55%~69%时电导率缓慢上升至最大值 816 mS/cm,之后开始下降,全程

大致分为3段,即急剧上升、平缓上升至最大、缓慢下降,这3段不同的电导率分别对应微乳液的3种结构类型,即油包水(W/O)型、双连续(BC)型和水包油(O/W)型微乳液^[11-12]。当含水量达到34%时,电导率迅速上升,此时的含水量为乳液的渗滤阈值,微乳液浓度逐渐增大,液滴开始相互碰撞,产生了许多细小的水通道,液滴间的相互作用力增强,水通路和油通路逐步形成交联的网状结构,到含水量达到55%的微乳液体系形成W/O型,之后随含水量增加,电导率增加趋势变缓,直到体系的电导率达到最大值,55%含水量为乳液的水渗滤阈值,这时的微乳液体系由W/O型缓慢的转变BC型,此时的微乳液并不是球状液滴;随着电导率达到最大值后,微乳液体系由BC型向O/W型转变,因此含水量69%为油渗滤阈值。当含水量在69%~80%时,因为随着含水量的增加,微乳液由BC型变为O/W型,此时微乳液的浓度因为水的稀释而逐渐降低,液滴之间的相互作用变小,电导率缓慢下降。因此,牡丹籽油微乳液在含水量为34%~55%范围内形成W/O型微乳液,在含水量为55%~69%范围内形成BC型微乳液,在含水量为69%~80%范围内形成O/W型微乳液。

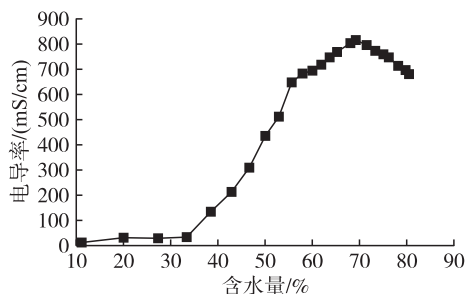


图5 牡丹籽油微乳液电导率随含水量的变化

2.5 盐离子浓度对牡丹籽油微乳液形成的影响 (见图6)

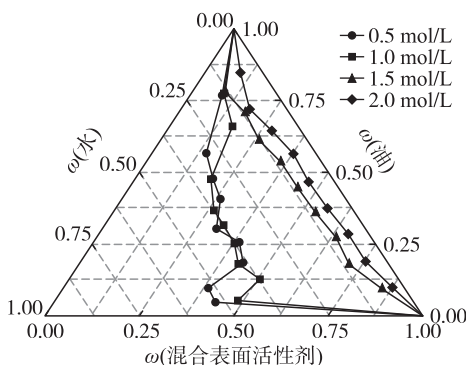


图6 不同盐离子浓度的牡丹籽油微乳液拟三元相图

由图6可看出,牡丹籽油微乳液在0.5、1.0、1.5、2.0 mol/L的NaCl溶液中形成的微乳区面积分别为27.05%、24.99%、9.10%、5.57%。而不含盐离子时,微

乳区面积为23.12%(图4),说明微乳区面积随着盐离子浓度的增加先升高再下降,当盐离子浓度小于1.0 mol/L时,微乳区面积均比不含盐离子时大,此时盐离子对微乳液形成为良性推动,随着盐离子浓度增加这种推动作用减小,并在超出一定值(1.5 mol/L)后抑制微乳液的形成。这是因为非离子表面活性剂Tween 80受离子强度影响会比较大,较低浓度的氯化钠溶液能在体系中发生盐溶作用,使体系增溶的水量有所提高。盐离子浓度过高时,会发生盐析的现象,使得混合表面活性剂分子的亲水性降低,而导致微乳液区域面积变小^[13-14]。因此,低浓度盐离子(≤ 1.0 mol/L)的存在可以促进牡丹籽油微乳液的形成,但盐离子浓度过高(≥ 1.5 mol/L)时会抑制牡丹籽油微乳液的形成。

3 结论

采用相转变法和拟三元相图法制备牡丹籽油微乳液,从不同表面活性剂、亲水亲油平衡(HLB)值、助表面活性剂中筛选最佳组分,确定制备牡丹籽油微乳液的体系为牡丹籽油/Tween 80/Span 80/无水乙醇/水。采用单因素试验和正交试验对牡丹籽油微乳液制备工艺条件进行优化,得到最优的制备条件为:以Tween 80与Span 80(质量比6:4)为混合表面活性剂(混合表面活性剂HLB值为11),混合表面活性剂与助表面活性剂无水乙醇比例为1:1,在25℃下,先将混合表面活性剂相(包含助表面活性剂)与牡丹籽油混合均匀,再逐滴加水。在此条件下,随着加水量增加,形成的牡丹籽油微乳液结构从油包水(W/O)型到双连续(BC)型再到水包油型(O/W)转变,最终制备的牡丹籽油微乳液为微黄澄清透明状液体,粒径为 (40.63 ± 1.77) nm,多分散系数稳定在 0.218 ± 0.003 ,电导率为 (681.75 ± 19.15) mS/cm。

同时发现,低浓度的盐离子的存在可以促进牡丹籽油微乳液的形成,但盐离子浓度过高时,由于盐析现象又会反过来抑制微乳液的形成。所以在生产加工时,牡丹籽油微乳液更适用于含有低浓度盐离子的食品中。

参考文献:

- [1] LOURITH N, KANLAYAVATTANAKUL M, RUKTANONCHI U. Formulation and stability of *Moringa oleifera* oil microemulsion[J]. *Soft Mater*, 2016, 14(1/2/3/4):64-71.
- [2] GARTI N, ASERIN A. Micelles and microemulsions as food ingredient and nutraceutical delivery systems[M]// *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*. England: Woodhead Publishing, 2012: 211-251.

(下转第70页)

- 件的抗氧化作用[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(8): 220-224.
- [6] 曹君. 不同脂肪酸结构食用油的氧化规律及其动力学研究[D]. 南昌:南昌大学, 2015.
- [7] 刘耀华, 宋永, 齐宝坤. 添加迷迭香提取物对油茶籽油储藏稳定性的影响[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 32-35.
- [8] 陈灼娟. 6种茶油中酚类物质含量的测定[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(20): 30-31, 34.
- [9] 丁新杰. 精炼对大豆油和菜籽油中有益微量组分的影响[D]. 郑州:河南工业大学, 2015.
- [10] 陈焱, 尤梦圆, 王满意, 等. 不同加工方式对油茶籽油品质的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(5): 180-184.
- [11] 王进英. 油茶籽油热稳定性研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2017.
- [12] 刘凤霞, 王莹, 薛刚, 等. 迷迭香脂溶性提取物在植物油中的抗氧化性研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(1): 101-104.
- [13] BERASATEGI I, BARRIUSO B, ANSORENA D, et al. Stability of avocado oil during heating; comparative study to olive oil[J]. Food Chem, 2012, 132(1): 439-446.
- [14] 贺瑶, 刘尧刚, 罗质, 等. 高油酸葵花籽油与普通葵花籽油在煎炸性能上的比较研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(7): 39-42.
- [15] 李泳霖, 谷宇欣, 官婷, 等. 4种植物油热氧化同步荧光光谱分析[J]. 农产品加工, 2020(3): 50-54, 59.
- [16] 毛立新, 郭建荣, 吴旭, 等. 同步荧光光谱法快速鉴别食用油[J]. 食品科学, 2014, 35(8): 67-71.
- [17] 赵守敬, 陈斌, 陆道礼. 基于荧光光谱法的植物油加热氧化规律[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(3): 104-109.
- [18] ZANDOMENEGHI M, CARBONARO L, CAFFARATA C. Fluorescence of vegetable oils; olive oils[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(3): 759-766.
- [19] HAZIR M H M, SHARIFF A R M, AMIRUDDIN M D, et al. Oil palm bunch ripeness classification using fluorescence technique[J]. J Food Eng, 2012, 113(4): 534-540.
-
- (上接第64页)
- [3] JANKOVIC J, DJEKIC L, DOBRICIC V, et al. Evaluation of critical formulation parameters in design and differentiation of self-microemulsifying drug delivery systems (SMEDDSs) for oral delivery of aciclovir[J]. Int J Pharm, 2016, 497(1/2): 301-311.
- [4] 郭乃妮, 王天瑞, 刘榜迪, 等. 牡丹籽油的提取及应用研究进展[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(3): 20-23.
- [5] 唐佳芮, 魏冰, 石珊珊. α -亚麻酸分离纯化技术研究进展[J]. 中国油脂, 2020, 45(8): 28-31, 38.
- [6] 吴俏瑾, 杜冰, 蔡允林, 等. α -亚麻酸的生理功能及开发研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 386-390.
- [7] 郑永军, 吾满江艾力. Tween80/BmimPF₆/醇/甲苯体系的相行为[J]. 物理化学学报, 2008(11): 2143-2148.
- [8] WANG L, DONG J, CHEN J, et al. Design and optimization of a new self-nanoemulsifying drug delivery system[J]. J Colloid Interf Sci, 2009, 330(2): 443-448.
- [9] SINGLA M, PATANJALI P K. Phase behaviour of neem oil based microemulsion formulations[J]. Ind Crops Prod, 2013, 44: 421-426.
- [10] 易海斌. 柚子籽油微乳剂的制备及质量评价[D]. 南昌:南昌大学, 2012.
- [11] 刘欣. 玫瑰精油微乳剂制备及特性研究[D]. 江苏无锡:江南大学, 2017.
- [12] 满妍妍, 张丽君, 徐怀德, 等. 核桃油微乳剂制备及水、油渗透阈值研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(4): 80-85.
- [13] 梅子, 傅玉颖, 卢锦丽. 全稀释食品级单辛酸甘油酯微乳剂的稳定性研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(3): 80-86.
- [14] FANUN M. Phase behavior, transport, diffusion and structural parameters of nonionic surfactants microemulsions[J]. J Mol Liquids, 2008, 139(1/2/3): 14-22.