

扬州市职业大学

毕业设计说明书

题目：橄榄油微乳液的制备及结构初探

学 院： 生物与化工工程学院

专 业： 食品营养与检测

班 级： 食品 1402

姓 名： 夏 亲

学 号： 140703224

指导教师： 郭 静

张秀丽（企业）

完成时间： 2017 年 5 月

摘 要

以大豆卵磷脂、司盘 80、乙醇为表面活性剂相，橄榄油为油相，水和甘油为水相，制备食品级橄榄油微乳体系。通过目测、电导率、负染透射电镜等方法初步探讨微乳体系随水相含量变化时的结构转变过程。结果表明，当大豆卵磷脂、Span80、乙醇的质量比为 3:1:2，水相中水与甘油质量比为 1:2 时，所得微乳区域面积最大。在大豆卵磷脂-司盘 80-乙醇-甘油-水微乳体系中，当水相含量低于 20% 时，电导率随水相含量增大而迅速增大，体系为 W/O 型微乳液；当水相含量在 20%~30% 时，电导率增加缓慢，体系为层状或类层状液晶结构；水相含量大于 30% 后，体系发生相分离。

关键词: 橄榄油；微乳液；制备；结构

Abstract

The food grade olive oil microemulsion system is prepared with surfactant phase containing soybean lecithin, span 80 and ethanol, olive oil as oil phase and water and glycerin as aqueous phase. The structural transformation process of the microemulsion system upon aqueous phase dilution was discussed by means of visual inspection, conductivity, negative transmission electron microscope and other methods. The results showed that as the quality ratio of soybean lecithin, Span80 and ethanol was 3:1:2, the ratio of water to glycerol was 1:2, the area of microemulsion was the largest. When the content of aqueous phase was less than 20%, the conductivity increased rapidly with the weight content of aqueous phase, and the system was W/O type microemulsion. When the content of aqueous phase is between 20% and 30%, the conductivity increased slowly, and the system was layered or lamellar crystalline structure. The phase separation appeared when the aqueous phase content is higher than 30%.

Key words Olive oil Microemulsion Preparation Structure

目 录

摘要.....	I
Abstract.....	I
1.1 微乳液的概述.....	1
1.1.1 微乳液的类型.....	1
1.1.2 微乳液的特点.....	1
1.2 食品级微乳液.....	1
1.2.1 食品级微乳液的组成.....	1
1.2.2 食品级微乳液的研究现状.....	2
1.3 论文研究的目的及意义.....	2
2 实验部分.....	2
2.1 材料与仪器.....	2
2.2 实验方法.....	3
2.2.1 橄榄油微乳液的制备.....	3
2.2.2 拟三元相图的绘制.....	3
2.2.3 橄榄油微乳体系各组分比例的确定.....	3
2.2.4 目测法观察.....	4
2.2.5 电导率的测定.....	4
2.2.6 微乳液滴微观形貌分析.....	4
3 结果与讨论.....	4
3.1 复配表面活性剂组分比例对微乳体系相行为的影响.....	4
3.2 乙醇对微乳体系相行为的影响.....	5
3.3 甘油对微乳体系相行为的影响.....	6
3.4 目测法观察结果.....	7
3.5 电导率测定结果.....	7
3.6 微乳液滴形貌分析.....	8
4 结论.....	8
参考文献.....	9
致 谢.....	10

1 前言

1.1 微乳液的概述

微乳液最早由 Hoar 和 Schulman (1943 年) 发现, 它是由水、油、表面活性剂和助表面活性剂自发形成的各向同性、透明、热力学稳定的分散体系^[1], 其液滴粒径约为 10~100nm。微乳液具有超低的界面张力、优异的稳定性以及增溶各类极性或非极性物质的能力^[2], 因而受到研究者的广泛关注。

1.1.1 微乳液的类型

根据结构的不同, 微乳液可以分为单相和多相微乳液^[2]。单相微乳液即一种分散的、各相同性的均相体系, 根据其中组分比例的不同, 单相微乳液可分为油包水型 (W/O)、水包油型 (O/W) 和双连续相型 (B.C.) 三种类型^[1], 结构如图 1 所示。相应地, 多相微乳液也可以分为三种, 即 Winsor I (O/W 微乳和过剩油的二相体系)、Winsor II (W/O 微乳和过剩水的二相体系) 和 Winsor III (微乳和过剩油、过剩水相组成的三相体系)^[1]。

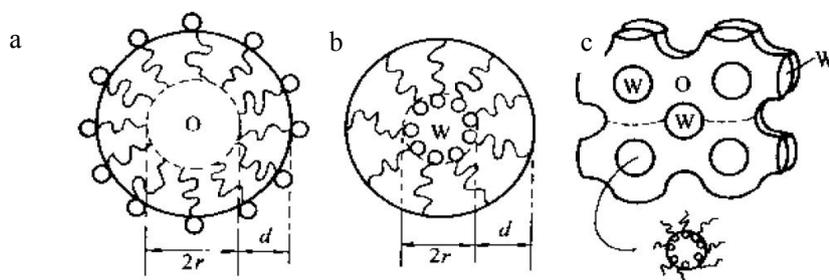


图 1 单相微乳液结构示意图^[1]

a.水包油 b.油包水 c.双连续

在 W/O 型微乳液中, 油作为连续相, 细小的水滴分散在油相中。O/W 型微乳液的结构则恰好相反, 其中, 水是连续相, 油滴是分散相。B.C.型微乳液则兼具 W/O 型和 O/W 型两种微乳结构的综合特点, 形成油和水均为局部连续的过渡态结构。在微乳体系中, 表面活性剂分子主要存在于油水界面膜中, 其亲水基朝向水相, 疏水基朝向油相。

1.1.2 微乳液的特点

与普通乳状液相比, 微乳液主要有以下一些特点^[1]: (1)微乳液是热力学稳定体系, 可以长期储存, 不发生相分离, 离心后也不发生分层; (2)微乳液外观呈透明或半透明状, 粘度较低, 接近于水; (3)在结构组成上, 制备微乳液所需表面活性剂的量远高于普通乳状液; (4)微乳液一般为单一分散体系, 其分散相粒径约为 10~100nm。而普通乳状液为多分散体系, 粒径往往大于 100nm; (5)微乳液可以与油、水在一定范围内互溶, 普通乳状液一般根据类型只能和油或水混匀。

1.2 食品级微乳液

微乳液纯净的外观、优异的稳定性、良好的肤感以及高效载药性, 使其广泛应用于医药、食品、化妆品等领域。在食品加工方面, 微乳液有助于提高活性物质的溶解度, 使其免受光、热、氧、酶、菌等外部环境的干扰, 改善了易氧化、易分解物质的稳定性。另外, 微乳液还可以实现活性成分在人体消化道环境中作用的靶向性, 达到缓释和控释, 提高其生物利用率。

1.2.1 食品级微乳液的组成

微乳液的形成取决于表面活性剂的种类、油水比例等。对于食品级微乳液, 组分在选择上还需要重点考虑以下三种问题: (1)组分安全无毒、无刺激性; (2)微乳液对食品功能性

成分有较高的增溶能力；(3)微乳液在一定温度范围有较好的储存稳定性。用于食品领域的表面活性剂种类较为有限，某些表面活性剂和助表面活性剂在用量上必须低于相关规定的最大允许吞服量^[3,4]。离子型表面活性剂由于刺激性强，因而在食品领域较少使用。生物表面活性剂和非离子表面活性剂由于较好的生物相容性、较低的毒性，因而在食品中应用较为广泛。常见食品级表面活性剂主要有：吐温（Tween）、曲拉通（Triton）、聚氧乙烯月桂醚（Brij）、卵磷脂、蔗糖酯、烷基糖苷类等^[4]。微乳液的形成一般需要添加助表面活性剂，助表面活性剂在微乳体系中主要具有降低表面张力、增加界面膜的弯曲度和流动性、破坏液晶相的稳定性等作用。

1.2.2 食品级微乳液的研究现状

早在 20 世纪 80 年代，人们已经将微乳液作为药物载体来进行研究。1990 年，第 199 届美国化学会会议首次提出“食品级微乳液”的概念^[5]，从此，基于微乳液的食品载体研究迅速展开。目前，国内外有关食品级微乳液的研究主要集中在微乳液的增溶效果、结构、稳定性以及将微乳液作为微反应器这几个方面。

Garti 等^[6]以吐温 80 为表面活性剂、柠檬精油为油相，制备了吐温 80/柠檬精油/乙醇/甘油/水的五组分食品级微乳体系。Amar^[7]等制备了非离子食品级微乳液，并对叶黄素和叶黄素酯在该微乳体系中的增溶效果进行研究。Spermath^[8]等在制备食品级番茄红素微乳液得基础上，对体系中番茄红素对微乳液微结构的影响进行了研究。El-Nokaly^[5]等对食品级微乳液的配方进行优化，发现亚油酸聚甘油酯乳化效果较好。Fanun 等^[9]以蔗糖酯为表面活性剂，制备油包水型食品级微乳液，并研究了微乳液对美拉德反应的影响。

在国内，黄芬等^[10]以司盘 80、吐温 80 作为复配表面活性剂，制备了大豆油微乳液，并采用拟三元相图法研究了助溶剂对微乳体系增溶水量的影响。颜秀花^[11]制备了 β -胡萝卜素微乳液，并对其微结构、稳定性进行了研究。付婷婷^[12]对所制备的番茄红素微乳的亚结构、流变特性等进行研究。郑敏英等^[13]以大豆油和甘油作为油相、吐温 80 和乳糖为表面活性剂，制备了安全、稳定的鱼油微乳体系。

1.3 论文研究的目的地及意义

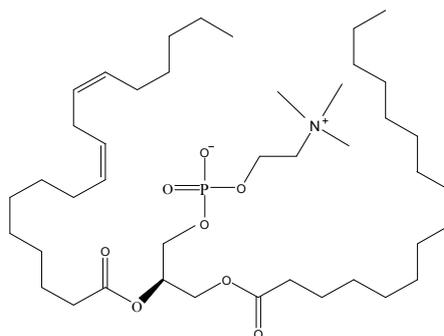
橄榄油富含丰富的不饱和脂肪酸，具有降血脂、降血压、抗氧化、抗癌等多种保健功效。然而，橄榄油作为食用油，较难形成均匀、透明的单相微乳体系，这大大限制了其在功能性食品领域方面的应用。本文选择生物相容性较高的两性表面活性剂大豆卵磷脂和非离子表面活性剂司盘 80 复配作为表面活性剂，以短链脂肪醇乙醇和甘油为助表面活性剂、橄榄油为油相，制备食品级微乳液。并在此基础上，通过目测、电导率法以及负染-透射电镜等方法，初步探讨橄榄油微乳体系的结构。本论文旨在通过该研究扩大橄榄油在食品功能因子领域中的应用，为微乳体系在食品、医药、生物技术等领域的应用，为易氧化、易分解物质的稳态化、制剂化研究提供理论依据和实验参考。

2 实验部分

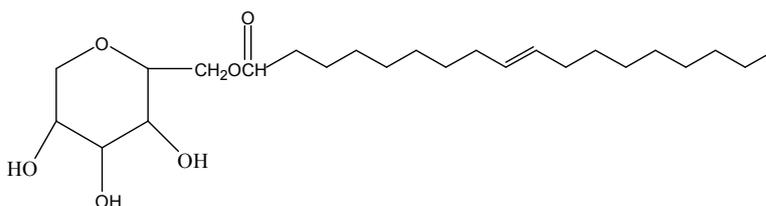
2.1 材料与仪器

橄榄油（化学纯，国药集团化学试剂有限公司）；大豆卵磷脂（纯度大于 70%，阿拉丁试剂公司）；司盘 80（化学纯，国药集团化学试剂有限公司）；无水乙醇（分析纯，国药集团化学试剂有限公司）；甘油（分析纯，国药集团化学试剂有限公司）；去离子水。

FA2104 型分析天平（上海舜宇恒平科学仪器有限公司）；涡漩混合仪（Scientific Industries, 美国）；DDS-11A 数显电导率仪（上海雷磁新泾仪器有限公司）；TECNAI 12 型负染-透射电镜（Philip 公司，美国）。



(a) 大豆卵磷脂



(b) 司盘 80

图 2 化合物分子结构

2.2 实验方法

2.2.1 橄榄油微乳液的制备

以橄榄油为油相，大豆卵磷脂（Lecithin）、司盘 80（Span80）及乙醇(EtOH)为表面活性剂相，水和甘油为水相，利用拟三元相图法制备微乳体系。

2.2.2 拟三元相图的绘制

固定 Lecithin、Span80 与乙醇的质量比，将表面活性剂相与油相按照质量比为 0:10 至 10:0 进行混合，并振荡均匀。逐滴加入水相，当体系由澄清变为浑浊或由浑浊变为澄清时，记录加入水相的质量，同时计算出该转变点下体系各相（表面活性剂相、油相及水相）所占质量分数。根据百分比，确定相转变点在相图中的位置，并连接成线，绘制出拟三元相图。

2.2.3 橄榄油微乳体系各组分比例的确定

(1) 复配表面活性剂组分比例的确定

固定表面活性剂与助表面活性剂的质量比，调整表面活性剂相中 Lecithin 和 Span80 的比例分别为 2:2、1:3、3:1、7:1。将表面活性剂相与油相以质量比为 0:10 至 10:0 进行混合，充分振荡混匀。在 $(25 \pm 1^\circ\text{C})$ 恒温条件下，以一定搅拌速度和间隔时间滴加水相，观察体系浑浊度的变化，记录相变时的水相加入量。

(2) 表面活性剂和助表面活性剂乙醇比例的确定

固定表面活性剂中 Lecithin 和 Span80 的质量比，调整表面活性剂和助表面活性剂乙醇的质量比分别为 1:1、1:2、2:1、3:1。将表面活性剂相与油相依次按照质量比为 1:10 至 10:0 进行混合，振荡均匀。在 $(25 \pm 1^\circ\text{C})$ 恒温条件下，以一定搅拌速度和间隔时间滴加水相，观察体系浑浊度的变化，记录相变时的水相加入量。

(3) 水和甘油比例的确定

固定表面活性剂相中 Lecithin、Span80、乙醇的质量比，将表面活性剂相与油相分别以质量比为 0:10 至 10:0 进行混合，并振荡均匀。调整水和甘油的质量比，分别为 1:1、2:1、

1:2, 在恒温 ($25\pm 1^{\circ}\text{C}$) 条件下, 以一定搅拌速度和间隔时间滴加水相, 观察体系浑浊度的变化, 记录相变时的水相加入量。

2.2.4 目测法观察

将表面活性剂相与油相按质量比 9:1 进行混合, 振荡均匀, 再加入不同质量的水和甘油 (质量比为 1/1), 以制得水相含量分别为 5%、10%、15%、20%、25%、30%、35% 的溶液, 在 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 恒温下放置一段时间, 观察微乳液外观。

2.2.5 电导率的测定

采用电导率仪, 在 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 下, 测定不同水相含量时溶液的电导率, 考察水相含量变化对溶液电导率的影响。

2.2.6 微乳液滴微观形貌分析

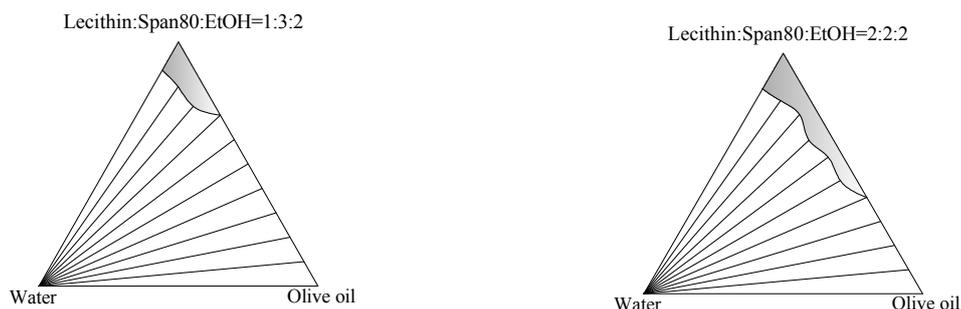
将微乳液样品滴在 $31.0\text{孔}\cdot\text{cm}^{-2}$ 具有 Formvar 膜的载网表面, 吸附 15min 后, 滴加磷酸钨酸染色, 采用负染-透射电镜观察微乳液滴的形貌及粒径分布。

3 结果与讨论

3.1 复配表面活性剂组分比例对微乳体系相行为的影响

以两性离子表面活性剂 Lecithin 和非离子表面活性剂 Span80 复配作为表面活性剂。Lecithin 和 Span80 质量比的不同对所形成微乳区的面积 (AT) 有较大的影响, 结果如图 3.1、表 3.1 所示。实验发现, 使用单一表面活性剂大豆卵磷脂或者司盘 80, 都无法形成微乳。由图 3.1、表 3.1 可以看出, 将两者进行复配, 可以不同程度地形成微乳液。当 Lecithin 与 Span80 的质量比为 1:3 时, 形成微乳所需表面活性剂相的量相对较多, 微乳区面积较小。而当大豆卵磷脂与 Span80 质量比为 3:1 时, 相图中所形成微乳区的面积最大。

Lecithin 是两性离子表面活性剂, 其 HLB 值为 8.0, Span80 属于亲油性表面活性剂, 其 HLB 值为 4.3。两者按不同质量比进行混合, 所得复配表面活性剂的 HLB 值发生改变。当 Lecithin 与 Span80 的质量比为 3:1 时, 混合表面活性剂的 HLB 值为 7.08, 所得微乳区面积最大, 且在相同油水质量比的条件下, 所需表面活性剂相的量相对较少。原因可能是 Span80 分子所含环氧原子和羟基中的氧原子与水及 H_3O^+ 结合, 使得该非离子表面活性剂带有部分正电性 [14], 若复配表面活性剂中 Span80 量过多, 易发生静电相斥作用, 不利于表面活性剂分子在界面的紧密排列。当两性型表面活性剂 Lecithin 与 Span80 以质量比 3:1 混合时, 两者亲水基团发生静电相吸作用, 表面活性剂分子相互靠近的几率增加, 并在油水界面达到有效吸附, 降低了界面张力。若继续增加复配表面活性剂中 Lecithin 的含量 (Lecithin 与 Span80 的质量比为 7:1), 微乳区面积开始下降, 这可能是 Lecithin 分子体积较大, Span80 在界面排列的空间阻力较大, 且 Lecithin 在油水界面的界面密度较低 [15] 造成的。



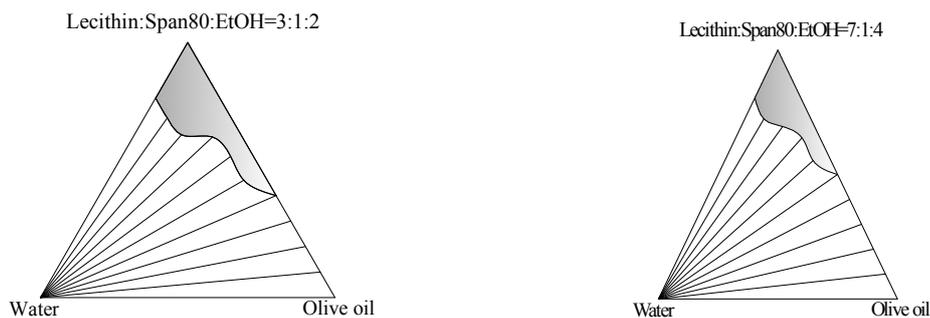


图 3.1 表面活性剂组分比例对微乳体系相行为的影响

(阴影部分表示单相区, 其他为两相或多相区, 下同)

表 3.1 表面活性剂组分比例对单相区面积的影响

表面活性剂组分比例	HLB 值 (复配表面活性剂)	A _T /%
Lecithin:Span80=1:3	5.23	8.78
Lecithin:Span80=1:1	6.15	4.52
Lecithin:Span80=3:1	7.08	14.61
Lecithin:Span80=7:1	7.54	10.90

3.2 乙醇对微乳体系相行为的影响

从食品级微乳体系的安全性考虑, 选择乙醇作为助表面活性剂, 表面活性剂与助表面活性剂配比 (K_m 值) 的不同对所形成微乳区的面积 (A_T) 有较大影响, 结果如图 3.2、表 3.2 所示。由图 3.2、表 3.2 可以看出, 随着 K_m 值的减小, 微乳区面积稍有增加后迅速下降直至为零。这表明随着表面活性剂相中乙醇比例的增加, 微乳区面积先增加后减少, 最终无法形成单相微乳区。其中, 当 K_m 值为 2/1 时, 微乳区面积最大, 此时, 微乳液增溶能力最强。究其原因可能是加入少量的乙醇能够增加界面的弯曲弹性, 破坏液晶相的稳定性 [16, 17]。而当乙醇含量大量增加时, 表面活性剂相对含量减少, 油水界面表面活性下降, 不足以维持较低的油/水界面张力 [18], 引起相界面稳定性下降, 最终导致微乳区域面积下降, 甚至消失。

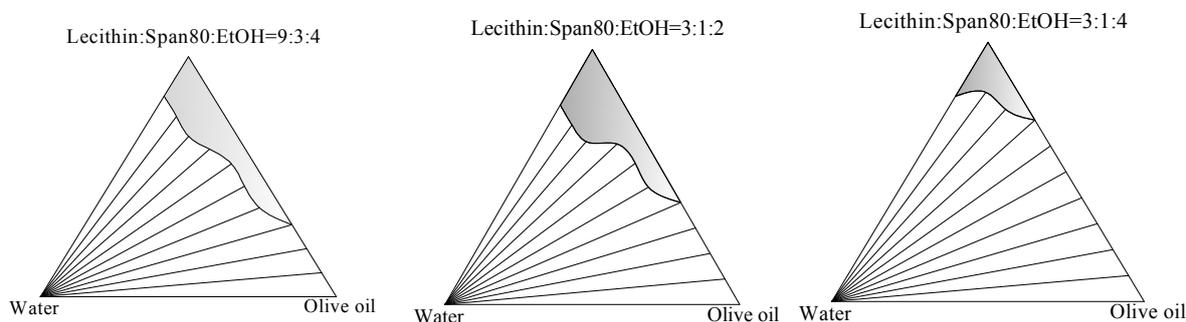


图 3.2 不同 K_m 值对微乳体系相行为的影响

表 3.2 不同 Km 值对单相区面积的影响

表面活性剂与助表面活性剂配比 (Km 值)	A _T /%
3/1	14.48
2/1	14.61
1/1	5.24
1/2	0

3.3 甘油对微乳体系相行为的影响

当 Lecithin、Span80、乙醇的质量比为 3:1:2 时，以甘油和水混合作为水相，甘油在水相中比例的不同对所形成微乳区的面积 (AT) 有不同程度影响，结果如图 3.3 和表 3.3 所示。由图 3.3、表 3.3 可以看出，水相中逐渐加入甘油，微乳区面积基本呈缓慢增加的趋势。甘油作为一种助溶剂，无表面活性，不能够渗透到表面活性剂的界膜当中[12]，可以起到一定程度地“盐析”作用。由于甘油为多元醇，其大部分存在于水相中[6]，对于微乳液的形成具有一定的稳定作用。因此，当水与甘油质量比为 1: 2 时，微乳液区域面积最大。

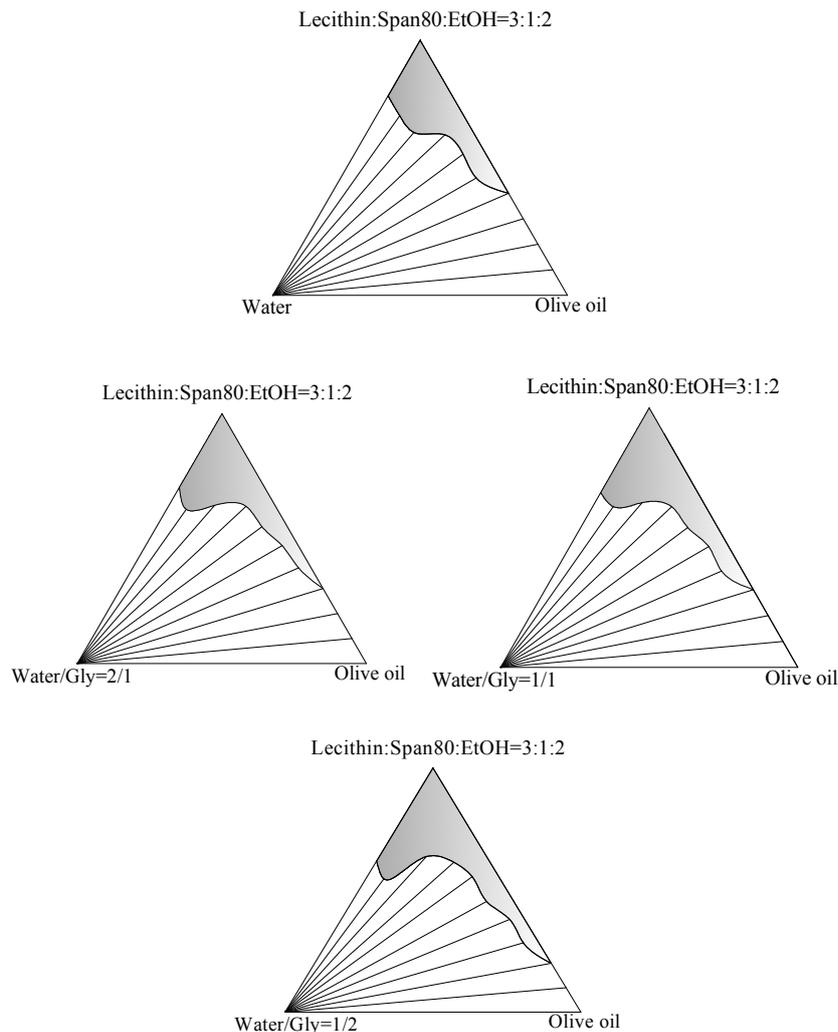


图 3.3 甘油在水相中的比例对微乳体系相行为的影响

表 3.3 水与甘油质量比对单相区面积的影响

水/甘油 (w/w)	$A_T/\%$
不加甘油	14.61
2:1	17.28
1:1	18.67
1:2	21.18

3.4 目测法观察结果

在大豆卵磷脂、Span80、无水乙醇的质量比为 3:1:2，表面活性剂相与油相的质量比为 9:1 的条件下，加入水相（水与甘油质量比为 1/1），制得不同水相含量的橄榄油微乳液，结果如图 3.4 所示。由图 3.4 可以看出，随着水相含量的增加，微乳液一直保持黄色、澄清、透明状。当水相含量达到 35%时，溶液明显浑浊。因此，通过目测法，结合拟三元相图的绘制，确定相分离的转变点为水相含量大于 30%。

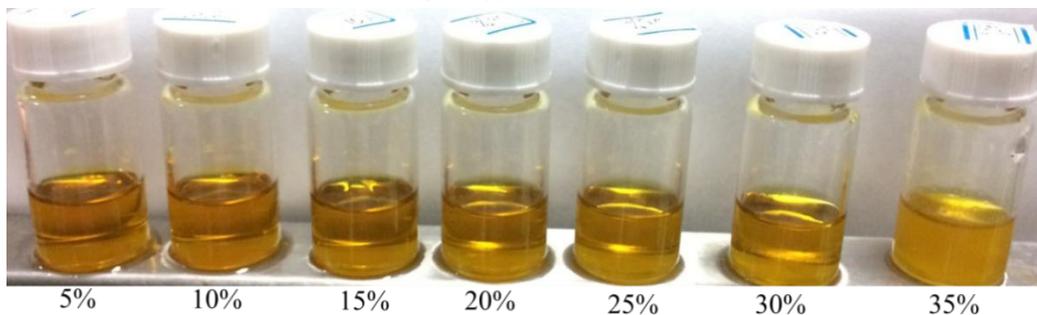


图 3.4 不同水相含量时橄榄油微乳液外观

3.5 电导率测定结果

测定 3.4 条件下不同水相含量的大豆卵磷脂-司盘 80-乙醇-甘油-水微乳体系的电导率，体系电导率随水相含量的变化如图 3.5 所示。由图 3.5 可以看出，未加水相溶液时，混合液（大豆卵磷脂、司盘 80、乙醇）的电导率不为零，这可能是由于大豆卵磷脂的等电点为 6.7，混合溶液的 pH 为 6.0~6.4，溶液呈微酸性，水相含量为零时，溶液即具有一定的导电性，电导率约为 $12.0 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。当水相含量为 0~20%时，微乳液体系的电导率直线上升，这表明随着 W/O 型微乳液滴数量的增加，水液滴间发生相互吸引和粘性碰撞，在油连续相中形成通道，连接形成电导链[19]。随着水相含量的增加，电导率快速上升，并与水相含量呈线性关系；当体系水相含量大于 20%以后，电导率变化缓慢，并出现下降趋势，这表明连续相中所形成的细小通道扩大，此时微乳体系可能由 W/O 型微乳液转变成双连续型微乳液或表面活性剂的其它有序组合体（如液晶、囊泡等）；当水相含量超过 30%，溶液电导率急剧下降，此时微乳液处于相分离状态。这可能是由于当水量超过临界点以后，微乳界面膜开始发生破坏，油水发生分离，界面张力增大，阻碍了水分子间的相互作用和电荷传递，从而使体系电导率下降[20]。这一临界点（水相含量约 30%）可认为是微乳体系由单相的双连续相向相分离转变的临界点，这一结果恰好与目测法、拟三元相图法所得结果相一致。

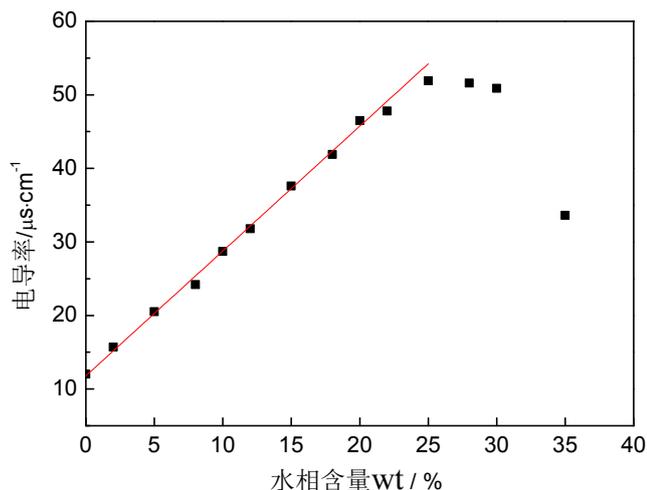


图 3.5 电导率随水相含量的变化

3.6 微乳液滴形貌分析

图 3.6 为含水相含量分别为 15% 和 25% 时, 橄榄油微乳体系的负染-电镜图。由图 3.6 (a) 可以看出, 水相含量为 15% 时, 体系液滴均匀分散, 呈球形结构, 粒径在 100~200nm, 此时体系为 W/O 型微乳。由图 3.6 (b) 可以看出, 水相含量为 25% 时, 表面活性剂层与水层交替排列, 呈纳米尺寸的网状结构, 晶体生长结构明显, 初步确定该水相含量下, 体系为层状或类层状液晶结构。这些结构还需要通过其他表征手段进一步进行后续研究。

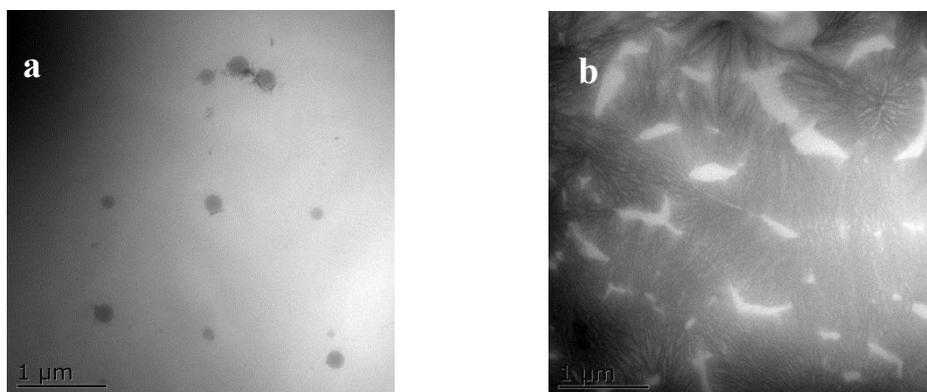


图 3.6 不同水相含量下体系的负染-电镜图 (水相含量: a.15%, b.25%)

4 结论

以大豆卵磷脂和司盘 80 为表面活性剂、乙醇为助表面活性剂, 橄榄油为油相、水和甘油为水相, 制备大豆卵磷脂-司盘 80-乙醇-甘油-水微乳体系。通过目测法、电导率法和负染透射电镜初步探讨微乳液体系随水相含量变化时的结构转变过程。结果表明:

- (1) 当大豆卵磷脂与 Span80 质量比为 3:1, 表面活性剂与助表面活性剂质量比为 2:1, 水相中水与甘油质量比为 1:2 时, 所得微乳区域面积最大;
- (2) 制备不同水相含量的大豆卵磷脂-司盘 80-乙醇-甘油-水微乳体系, 通过测定其电导

率得出,水相含量低于20%时,体系为W/O型微乳液;当水相含量在20%~30%,电导率增加缓慢,结合负染-透射电镜图,体系为层状或类层状液晶结构;水相含量大于30%后,体系发生相分离。

参考文献

- [1]赵国玺,朱步瑶.表面活性剂作用原理[M].北京:中国轻工业出版社.2003:619
- [2]杨亚慧.短链醇对单相微乳液结构及材料合成的影响[D].山西师范大学.2015:1
- [3]余立意.月桂酸单甘油酯微乳体系的构效关系[D].杭州:浙江大学.2013:6
- [4]徐文婷.非离子表面活性剂形成微乳的规律性研究[D].无锡:江南大学.2009:1-2
- [5]EI-Nokaly M, Cormell D. Microemulsion and emulsion in foods [M]. ACS Publications, 1991
- [6] Garti N., Yaghmur A., Leser M E, et al. Improved oil solubilization in oil/water food grade microemulsions in the presence of polyols and ethanol. *J Agric Food Chem*, 2001, 49(5): 2552-2562
- [7] Amar I., Aserin A., Garti N.. Microstructure transitions derived from solubilization of lutein and lutein esters in food microemulsions[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*.2004, 33: 143-150
- [8] Spornath A., Yaghmur A., Aserin A., et al. Food-Grade microemulsions based on nonionic emulsifiers: media to enhance lycopene solubilization[J]. *J. Agric. Food Chem*.2002, 50, 6917-6922
- [9]Fanun M., Leser M., Aserin A., et al. Sucrose ester microemulsions as microreactors for model Maillard reaction. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2001, 194, 175-187
- [10]黄芬,唐年初,郭贯新,等.食品级大豆油 W/O 微乳的制备研究[J].*食品工业科技*, 2010, (2): 280-282
- [11]颜秀花. β -胡萝卜素微乳制剂的研究[D].无锡:江南大学, 2008: 1-54
- [12]付婷婷.番茄红素微乳的制备及特性研究[D].无锡:江南大学, 2012: 1-63
- [13]Zheng M Y, Liu F, Wang Z W, et al. Formation and characterization of self-assembling fish oil microemulsions [J]. *Colloid Journal*, 2011, 73(3): 319-326
- [14]刘伟俊,郑忠.二元表面活性剂复配体系相互作用的研究[J].*华南理工大学学报(自然科学版)*.1992,20(4).123-129
- [15]谭晶,曹绪龙,李英,等.油/水界面表面活性剂的复配协同机制[J].*高等学校化学学报*.2009,30(5):949-953
- [16]李璐,肖南,田一农,李雁,解新安.柠檬烯U型微乳的构建及水增溶过程中微观结构变化过程模拟. *高分子材料科学与工程*.2015,31(1): 108-114
- [17]Gurpreet K, Leonardo C, Sylvain P, Ralf S, Michael G, Surinder K. M. Probing the Microstructure of Nonionic Microemulsions with Ethyl Oleate by Viscosity, ROESY, DLS, SANS, and Cyclic Voltammetry. *Langmuir*, 2012, 28, 10640-10652
- [18]张佩华,梅子,傅玉颖.全稀释食品级单辛酸甘油酯微乳体系的构建[J].*食品工业科技*. 2013, 34(16):125-130
- [19]李干佐,郭荣,林园,等.胶束溶液中双连续结构性质的探讨[J].*山东大学学报(自然科学版)*.1994,29(1):66-74
- [20]张奕,蔡建周,魏建业.卵磷脂/正丙醇/肉豆蔻酸异丙酯/水微乳体系的相结构研究[J].*分析测试学报*, 2014, 33(1):7-12

致 谢

时光飞逝，三年的大学生涯即将画上句号。在这宝贵的三年里，我不仅增长了知识、见解，还锻炼了自我、学到了许多为人处事的态度。

在本次论文的设计、安排和撰写过程中，首先要感谢郭静老师。从选题到实验、论文修改到定稿，郭老师一直悉心指导、循循善诱，对我论文思路的打开、研究工作的开展提供了很多建议和帮助，使我在论文研究过程中受益匪浅。当然，通过此次论文开展和写作，我也认识到自身存在的许多不足，如学习效率不高、动手能力和写作能力方面还有待加强等。在今后的学习和工作中，我会以此为动力，激励自己不断学习，争取更大的进步。

最后，感谢各位老师在这几年的学习和生活中给予我的帮助。感谢三年的同窗舍友，谢谢你们对我的鼓励与帮助，让我得到了快乐。