

Study on the Quasi-Ternary Phase Diagram of OP-10 Microemulsion Region

Bounmyxay Malayphone¹, Qingluo Meng¹, Yiwen Zeng^{2*}, Nong Wang^{1*}

¹School of Chemical and Biological Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou Gansu

²College of Materials and Chemical Engineering, Hezhou University, Hezhou Guangxi

Email: ¹13481457176@126.com, ¹wangnong07@163.com

Received: Jun. 2nd, 2020; accepted: Jun. 19th, 2020; published: Jun. 30th, 2020

Abstract

A series of quasi ternary phase diagrams of alkyl phenol polyoxyethylene ether (OP-10) + alcohols (n-butanol, isopentyl alcohol or n-octanol) + n-hexane + water (calcium chloride aqueous solution) system have been drawn based on experiments. We investigated the influence of cosurfactant alcohol with different addition and CaCl₂ solution with different molar concentrations on the microemulsion region respectively. In pure water quasi-ternary phase diagram, we found that the relative area of microemulsion region in the ternary system increases at the beginning and then decreases with the mass ratios of OP-10 and cosurfactant n-butanol, isopentyl alcohol or n-octanol increase. When the OP-10:n-butanol = 1.5:1, OP-10:isopentyl alcohol = 2:1, and OP-10:n-octanol = 2.5:1, it has the largest area of microemulsion region. In general, the change tendency of microemulsion region relative areas increased at the beginning and then decreased in calcium chloride aqueous solution quasi-ternary phase diagram. The influence of relative area of microemulsion region is also different from adding different alcohols. Among them, the concentrations of CaCl₂ with the largest relative area of microemulsion region corresponding to n-butanol, isopentyl alcohol, and n-octanol are 0.1 mol/L, 0.5 mol/L and 0.1 mol/L respectively. This study has important reference value for the drawing of quasi-ternary phase diagram, preparation of microemulsion and synthesis of nanomaterials by microemulsion method.

Keywords

OP-10, Quasi-Ternary Phase Diagram, Microemulsion Region, Relative Area

OP-10拟三元体系微乳区域相图研究

井小莲¹, 孟庆络¹, 曾一文^{2*}, 王 农^{1*}

¹兰州交通大学化学与生物工程学院, 甘肃 兰州

²贺州学院材料与环境工程学院, 广西 贺州

*通讯作者。

摘要

实验绘制了一系列辛烷基酚聚氧乙烯醚(OP-10) + 醇(正丁醇、异戊醇或正辛醇) + C₆H₁₂ + 水(CaCl₂水溶液)拟三元体系相图, 分别研究了醇的添加比例及CaCl₂溶液浓度对微乳区域的影响, 发现在纯水的相图中, 随着OP-10与正丁醇、异戊醇或正辛醇的质量比逐渐增大, 拟三元体系中微乳区的相对面积先增大, 后减小; 当OP-10:正丁醇 = 1.5:1, OP-10:异戊醇 = 2:1, OP-10:正辛醇 = 2.5:1时, 微乳区的相对面积最大。在CaCl₂水溶液相图中, 三种醇微乳区相对面积总体上呈现先增大后减小的变化趋势, 且添加不同醇对微乳区相对面积的影响也不同, 其中微乳区面积最大时的正丁醇、异戊醇和正辛醇体系所对应的CaCl₂浓度分别为0.1 mol/L、0.5 mol/L和0.1 mol/L。该研究对于拟三元体系相图的绘制、微乳液的配制和微乳法制备纳米材料具有重要的参考价值。

关键词

OP-10, 拟三元体系相图, 微乳区, 相对面积

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

微乳液是分散相珠直径在 10~100 nm、透明的、热力学稳定的分散体系。微乳液的概念是 Schulman 和 Hoar [1]于 1943 年提出的, 是一种含有特定数量的油、水、表面活性剂与助表面活性剂的混合物, 具有粒径小、粒子分布均一、稳定等特点。微乳液的形成是自发的, 由表面活性剂在界面的吸附导致界面张力的降低来实现的。微乳液可分为单相微乳液、中相微乳液和多相微乳液[2]。中相微乳液是多相微乳液中与过剩盐水相和过剩油相达到三相平衡的 Winsor III 型微乳液, 它在三次采油、日用化工、微环境、酶催化等方面具有特殊重要的应用[3] [4], 也可作为反应介质用于增溶、模拟酶、纳米材料制备及药物的靶向性及剂型转变试剂等[5] [6] [7] [8] [9]。无机盐对微乳液的电性质、制备条件和稳定性都有较大的影响, 可以作为微乳液的稳定剂或破乳剂。Schott 等人[10]系统地研究了无机盐添加剂和非离子表面活性剂在水溶液中的相互作用, 并指出无机盐对非离子表面活性剂水溶液的影响主要包括盐溶和盐析作用, 分别升高和降低他们的浊点。袁迎[11]等研究了无机盐及其混合盐对十二烷基苯磺酸钠(SDBS)/正丁醇/正辛烷/水微乳液体系的影响, 发现该微乳体系随着各种盐类浓度的增加, 均发生 Winsor I → Winsor III → Winsor II 的相变, 但对不同的无机盐其最佳盐度不同。并以效率参数为桥梁推导出了单一无机盐与混合无机盐之间最佳盐度的关系式, 可用于预测混合盐效应。金瑞娣, 贾雪平[12]以 AS/C₁₂-4-C₁₂-2Br/ROH/己烷/盐水系统为对象, 研究了表面活性剂配比、表面活性剂用量、醇的种类、醇度、盐度等对系统相态的影响, 发现 AS/C₁₂-4-C₁₂-2Br 复配具有较好的协同效应, 以 AS/C₁₂-4-C₁₂-2Br 复配物为表面活性剂所制备的中相微乳液的最佳体积比用单一表面活性剂形成中相微乳液体积大。

运用相图来分析影响微乳体系的诸多因素是目前常用有效的方法之一。Nedjhioui 等[13]用相图的方

法研究了在盐和水溶性聚合物的存在下胶束体系的行为,发现当盐度增加时三相区消失,并观察到宽的单相区,说明加入盐以后具有增溶作用。夏茹等[14]用相图研究了三氟氯氰菊酯微乳剂形成的最佳条件,使用复配的表面活性剂和乙醇得到的乳化剂配制的微乳液面积较大,得到的透明温度区域为 $-4^{\circ}\text{C}\sim 74^{\circ}\text{C}$,同时研究了不同因素对微乳体系的影响。通过对一系列配方拟三元相图的绘制,使得在配制三氟氯氰菊酯农药微乳剂时有了具体数据的指导,从而大大减少了实验次数,提高配方设计效率,这也是相图法研究微乳体系的优势所在。赵辉等[15]用相图的方法研究了醇对高效氯氰菊酯的影响。随着醇的碳链增长,微乳区面积先增大后减小;醇(正辛醇)固定时,随着醇含量增加,微乳区面积先减小后增大。雷秋芬等[16]认为丙酯草醚对体系相行为影响不大。体系中加入阴离子表面活性剂 LAS 后,可以形成对温度不敏感的单相透明微乳液。在 TX-10 与 LAS 复配体系中。丙酯草醚的加入使形成单相透明微乳液所需表面活性剂浓度增加,起始温度升高,透明温度的范围变窄。Yaghmur 等[17]用相图的方法研究了多羟基化合物和短链醇对于食品微乳体系的增溶作用,发现它们在“油/表面活性剂/水”体系中形成 O/W、W/O 微乳,醇和多羟基化合物破坏了液晶相,并且 O/W 和 W/O 的转变是逐渐、连续变化的。单相区大小取决于油的种类、极性和非极性相组成以及多羟基化合物自身性质。张春华等[18]以高效氯氰菊酯为例,采用相图法考察了非离子与阴离子表面活性剂及其不同复配比例对微乳体系相行为的影响,发现复配表面活性剂更有利于较大微乳区的形成,说明微乳液加工中一般是复配表面活性剂的效果优于单一表面活性剂。此外,起增溶作用的醇也是重要的影响因素。总体说来,微乳区越大,透明温度区域越大,微乳体系就越稳定,这一论断可以有效地指导微乳剂配方的筛选,减少盲目性,提高筛选的效率。利用相图法研究聚合物、醇、表面活性剂等因素对体系微乳区的影响是比较复杂的,各种因素对于不同体系的影响也有所不同,其内在规律也是今后研究的方向。

本文采用相变点观察法绘制了 OP-10 + 醇(正丁醇、异戊醇或正辛醇) + C_6H_{12} + 水(或 CaCl_2 水溶液)拟三元微乳液体系相图,系统研究了正丁醇、异戊醇和正辛醇的添加比例和 CaCl_2 水溶液的浓度对微乳区域大小的影响;并且研究了三种不同的醇类助表面活性剂参与下的微乳体系的相图和相变化规律,该研究为设计并确定微乳体系配方提供了理论依据[19][20]。

2. 实验部分

2.1. 试剂与仪器

辛烷基酚聚氧乙烯醚($\text{C}_{34}\text{H}_{62}\text{O}_{11}$)非离子表面活性剂,简称(OP-10);正丁醇($\text{n-C}_4\text{H}_9\text{OH}$),异戊醇($\text{n-C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$),正辛醇($\text{n-C}_8\text{H}_{17}\text{OH}$),助表面活性剂;环己烷($\text{n-C}_6\text{H}_{12}$),油相;无水碳酸钠,AR;无水氯化钙,AR;二水氯化钡,AR;二次蒸馏水。

日本电子光学公司 JSM-6701F 冷场发射型扫描电镜(SEM),分辨率:1.0 nm (150 v),2.2 nm (kv);宁波天恒仪器厂 SC-15 数控超级恒温槽。

2.2. 微乳液纯水拟三元体系相图的绘制

称取 OP-10 分别与正丁醇,异戊醇,正辛醇按质量比 1:1,1.5:1,2:1,2.5:1,3:1 混合,该混合物被视为单一组分,然后与环己烷按不同的质量比(分别为 0:10,1:9,2:8,3:7,4:6,5:5,6:4,7:3,8:2,9:1,10:0)配成一个系列的拟二组分体系。每个样品的总质量约 10 克,置于 50 mL 的磨口锥形瓶中,并在 $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的恒温槽中恒温。然后采用水稀释法向每个样品中逐渐滴加第三个组分,缓慢滴加蒸馏水或不同浓度的氯化钙水溶液,搅拌后静置,确定体系达到平衡,通过目视观察体系的相转变点,初步确定相界限;当体系由澄清变混浊时为微乳相消失点(此微乳液体系中不涉及由混浊变澄清的相形成点),根据记录下微乳相消失点所加入的水或氯化钙水溶液的量,换算出相变点的 OP-10 + 正丁醇/异戊醇/正辛醇 + 环己烷

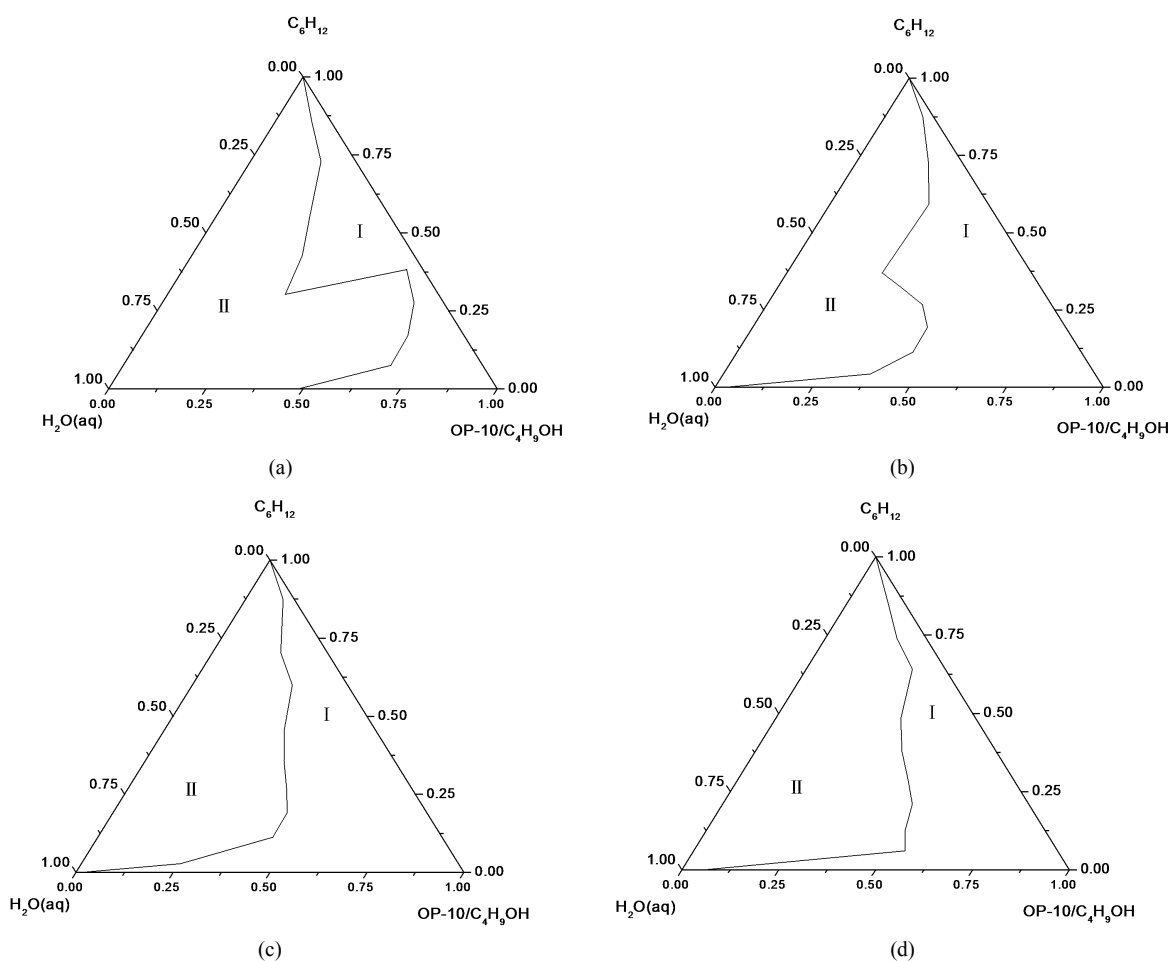
+ 水(CaCl_2 水溶液)的质量分数, 使用 Origin 软件绘制出拟三元体系相图, 其中, 三角形 3 个边的坐标分别为 OP-10 + 正丁醇/异戊醇/正辛醇的混合物与水(或 CaCl_2 水溶液)的质量分数, OP-10 + 正丁醇/异戊醇/正辛醇的混合物与环己烷的质量分数, 环己烷与水(或 CaCl_2 水溶液)的质量分数, 相图中区域, I 为微乳区, II 为非微乳区。并使用 image-pro plus 软件计算出相图中微乳区域的相对面积。

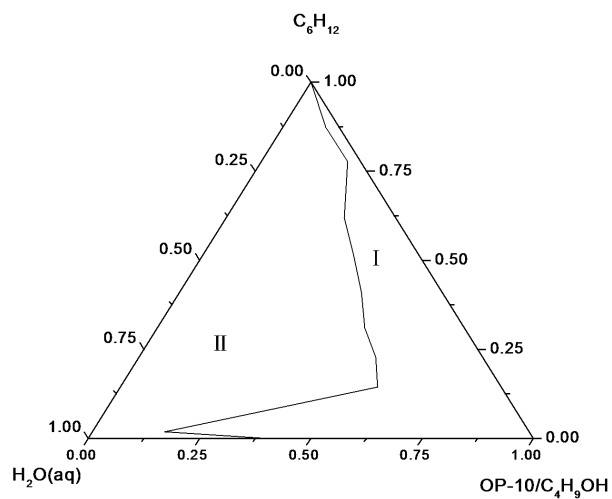
3. 实验结果与讨论

3.1. 助表面活性剂对微乳区域的影响

取实验所需的蒸馏水浓度为 0 mol/L , 分别测定了 $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 时 OP-10 与醇(正丁醇、异戊醇或正辛醇)质量比为 1:1, 1.5:1, 2:1, 2.5:1, 3:1 时 OP-10 + 醇(正丁醇、异戊醇或正辛醇) + 环己烷 + 蒸馏水四个体系的拟三元体系微乳区域的相消失点, 实验结果见图 1~3, 并绘制了拟三元体系微乳区域相图(图 1~3), 并根据绘制的拟三元体系微乳区域相图计算出不同 OP-10 与醇(正丁醇、异戊醇或正辛醇)质量比的拟三元体系 I 相微乳区域的相对面积(图 4)。

从图 4 中我们可以看出随着 OP-10 与醇(正丁醇、异戊醇或正辛醇)比例的变化, 微乳区域的相对面积有着显著地变化, 即随着 OP-10 与醇(正丁醇、异戊醇或正辛醇)比例的逐渐增大, 微乳区的相对面积先增大后减小。在纯水的相图中, 当 OP-10:正丁醇 = 1.5:1 时, 微乳区的相对面积最大; 当 OP-10:异戊醇 = 2:1 时, 微乳区的面积最大; 而当 OP-10:正辛醇 = 2.5:1 时微乳区的相对面积最大。通常认为, 醇在参与胶束的形成时能够改变表面活性剂的表面活性及亲水亲油平衡性, 调整水和油的极性[21]。本实

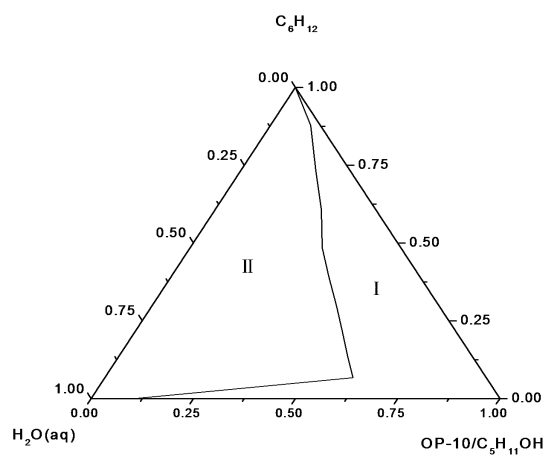




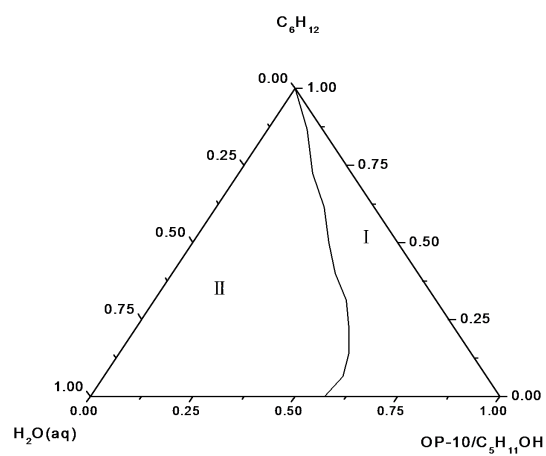
(e)

Figure 1. The quasi-ternary microemulsion region phase diagram with different mass ratio of OP-10 to n-butanol. (a) 1:1; (b) 1.5:1; (c) 2:1; (d) 2.5:1; (e) 3:1

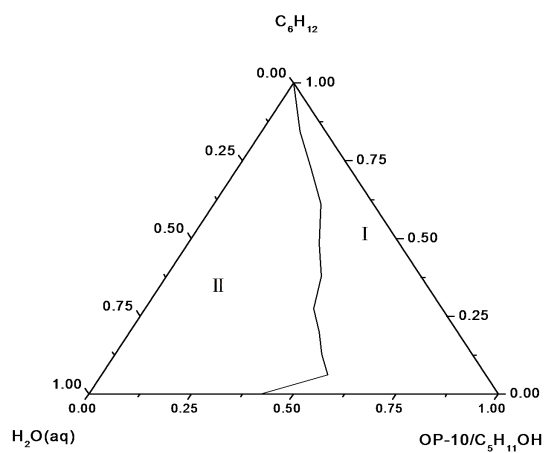
图 1. 不同 OP-10/正丁醇质量比的拟三元体系微乳区域相图。(a) 1:1; (b) 1.5:1; (c) 2:1; (d) 2.5:1; (e) 3:1



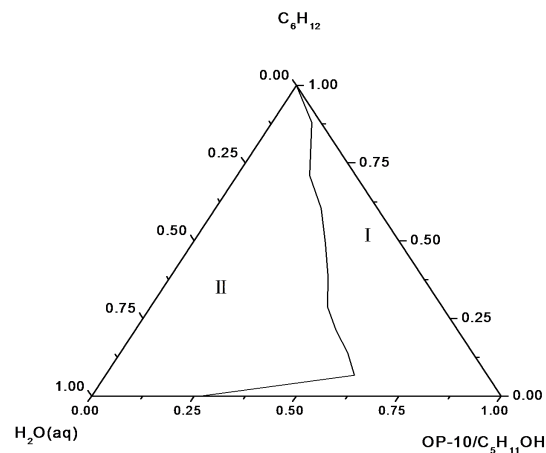
(a)



(b)



(c)



(d)

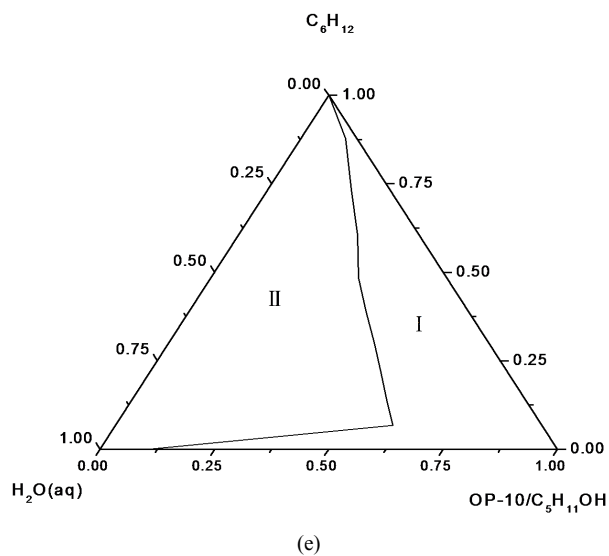
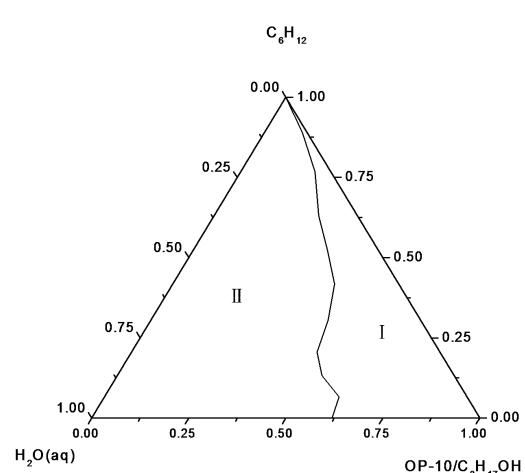
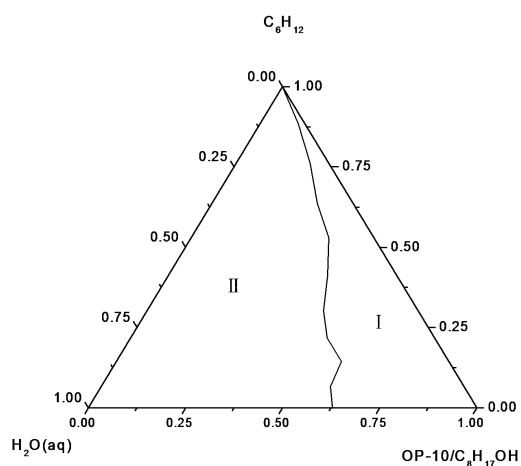
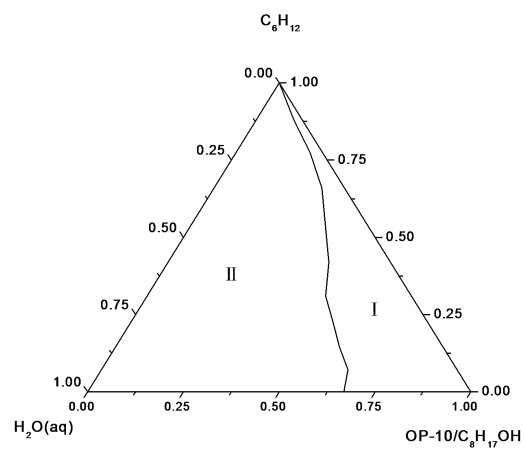
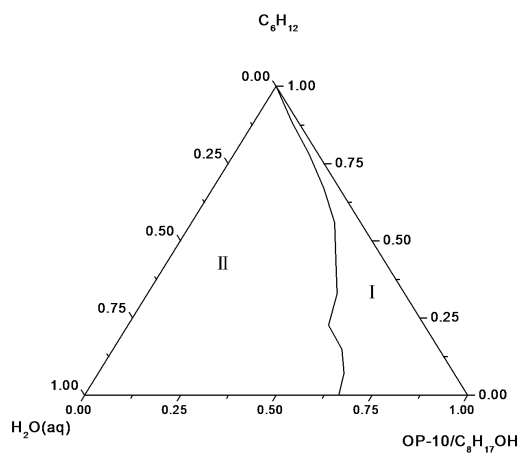


Figure 2. The quasi-ternary microemulsion region phase diagram with different mass ratio of OP-10 to isopentyl alcohol. (a) 1:1; (b) 1.5:1; (c) 2:1; (d) 2.5:1; (e) 3:1

图 2. 不同 OP-10/异戊醇质量比的拟三元体系微乳区域相图。(a) 1:1; (b) 1.5:1; (c) 2:1; (d) 2.5:1; (e) 3:1



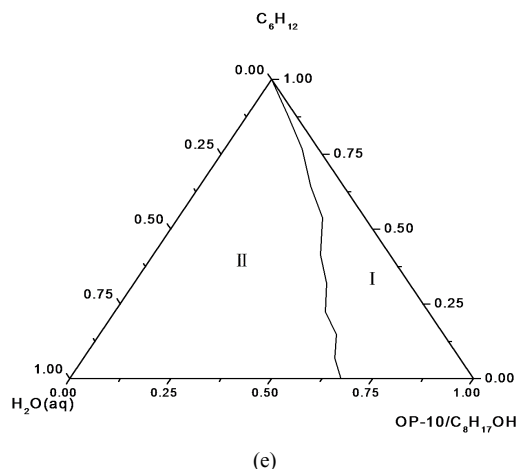


Figure 3. The quasi-ternary microemulsion region phase diagram with different mass ratio of OP-10 to n-octanol. (a) 1:1; (b) 1.5:1; (c) 2:1; (d) 2.5:1; (e) 3:1

图 3. 不同 OP-10/正辛醇质量比的拟三元体系微乳区域相图。(a) 1:1; (b) 1.5:1; (c) 2:1; (d) 2.5:1; (e) 3:1

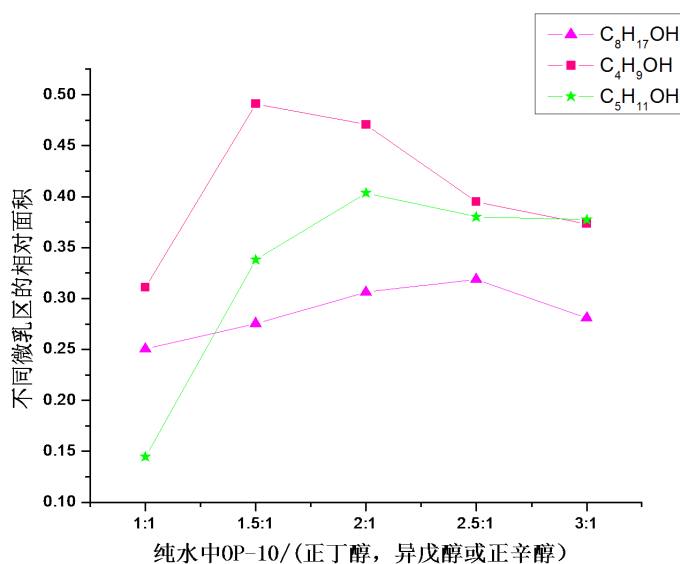


Figure 4. The relative area of microemulsion region in quasi-ternary phase diagram at different

图 4. 不同 OP-10/正丁醇/异戊醇/正辛醇质量比的拟三元体系相图微乳区域的相对面积(纯水)

验中, 助表面活性剂醇的作用是参与协助表面活性剂分子在油水界面的分配和排列, 从而改变体系的界面性质。醇的加入软化了油水界面膜[22] [23], 有利于微乳区的形成; 不同碳链长度的醇软化油水界面膜的能力不同。对于正丁醇至正辛醇体系, 随着其碳链依次增加[24], 醇分子的体积依次增大, 其嵌入界面膜的阻力增大, 使界面膜的柔性降低, 刚性增强, 不利于界面膜的弯曲, 不利于形成微乳液[25]。故在 (OP-10) + 醇(正丁醇、异戊醇或正辛醇) + C₆H₁₂ + 水拟三元体系中, 由正丁醇到异戊醇到正辛醇, 随着醇分子链的增长, 微乳区最大面积所对应的醇的添加比例逐渐减小。

3.2. 盐浓度对微乳区域的影响

分别确定 OP-10/正丁醇质量比为 1.5:1, OP-10/异戊醇的质量比为 2:1, OP-10/正辛醇的质量比为 2.5:1,

分别测定了 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 时 CaCl_2 浓度分别为 0.1 mol/L, 0.5 mol/L, 1 mol/L, 2 mol/L, 4 mol/L 的 OP-10 + 正丁醇 + 环己烷 + CaCl_2 水溶液, OP-10 + 异戊醇 + 环己烷 + CaCl_2 水溶液, OP-10 + 正辛醇 + 环己烷 + CaCl_2 水溶液六个体系的拟三元体系的微乳区域的消失点, 实验结果见图 4, 并绘制了拟三元体系微乳区域相图(图 5~7), 计算了不同 CaCl_2 浓度的拟三元体系 I 相微乳区域的相对面积(图 8)。

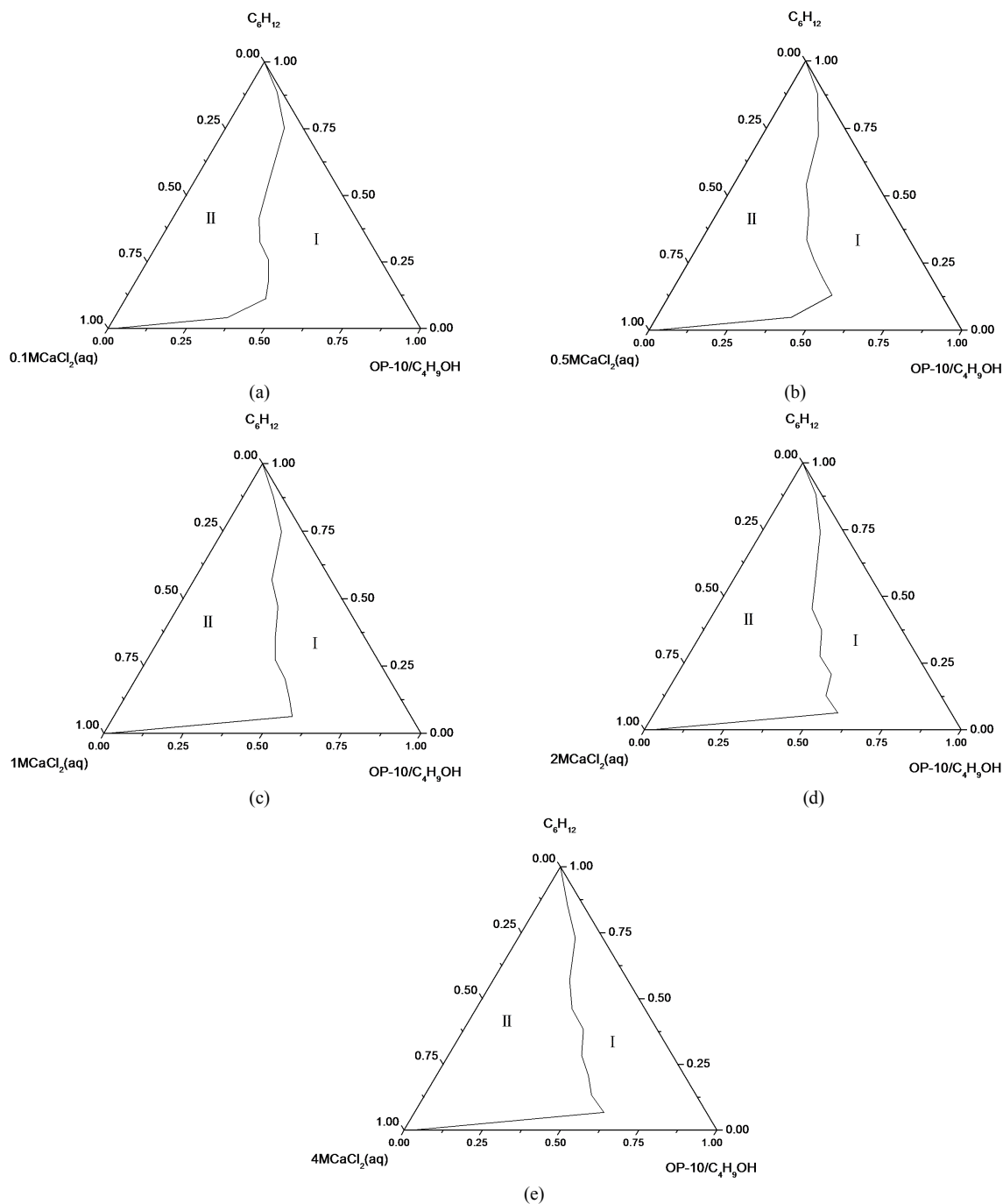


Figure 5. The quasi-ternary microemulsion region phase diagram at different molar concentration of calcium chloride (n-butanol). (a) 0.1 mol/L; (b) 0.5 mol/L; (c) 1.0 mol/L; (d) 2.0 mol/L; (e) 4.0 mol/L

图5. 不同氯化钙摩尔浓度的拟三元体系微乳区域相图(正丁醇)。 (a) 0.1 mol/L; (b) 0.5 mol/L; (c) 1.0 mol/L; (d) 2.0 mol/L; (e) 4.0 mol/L

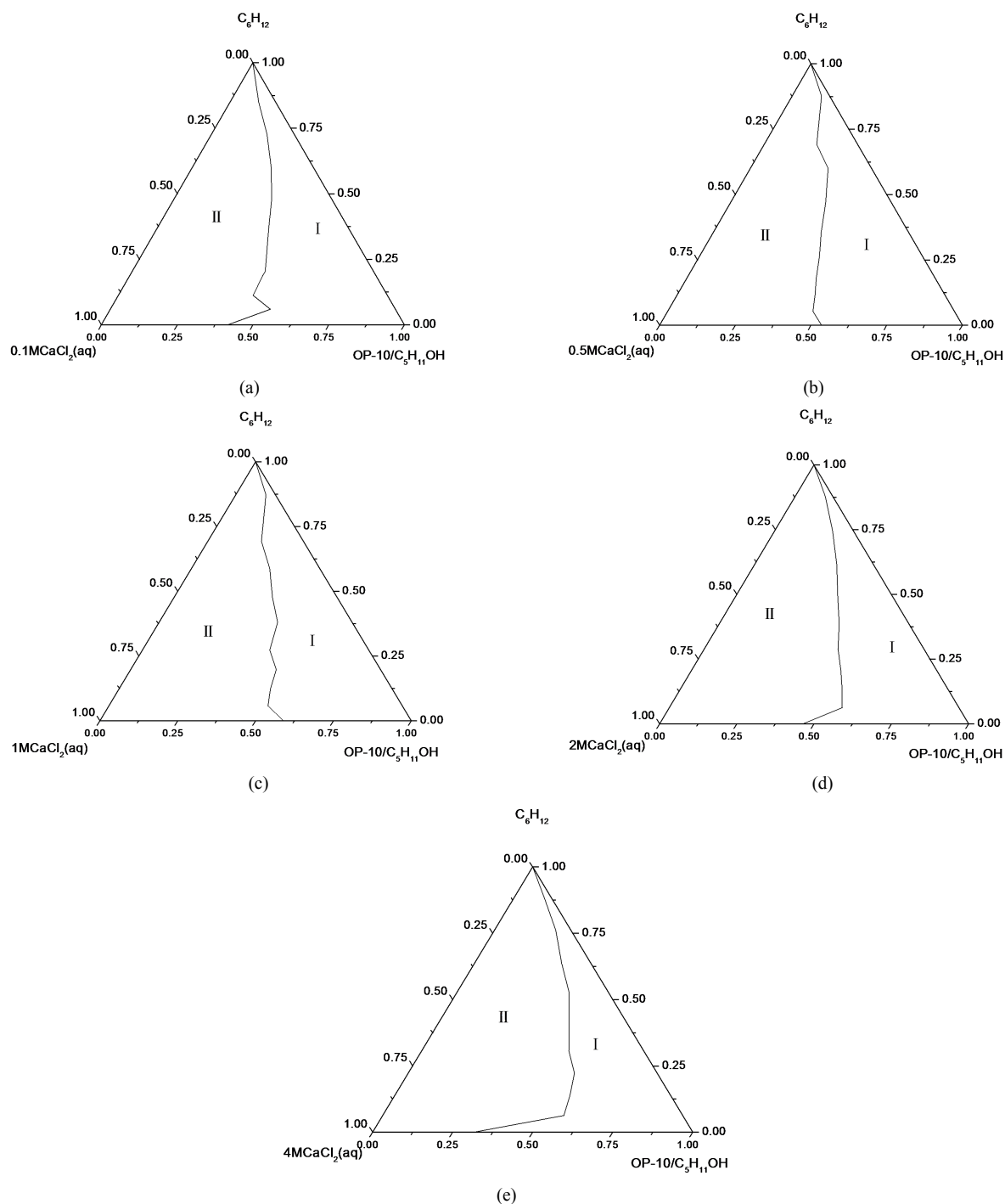


Figure 6. The quasi-ternary microemulsion region phase diagram at different molar concentration of calcium chloride (isopentyl alcohol). (a) 0.1 mol/L; (b) 0.5 mol/L; (c) 1.0 mol/L; (d) 2.0 mol/L; (e) 4.0 mol/L

图 6. 不同氯化钙摩尔浓度的拟三元体系微乳区域相图(异戊醇)。(a) 0.1 mol/L; (b) 0.5 mol/L; (c) 1.0 mol/L; (d) 2.0 mol/L; (e) 4.0 mol/L

由图 8 可以看出, 在 $OP-10 +$ 醇(正丁醇、异戊醇或正辛醇) + $C_6H_{12} + CaCl_2$ 水溶液拟三元体系相图中, 当助表面活性剂为正丁醇和正辛醇时, $CaCl_2$ 浓度为 0.1 mol/L 时微乳区面积最大; 当助表面活性剂为异戊醇时, $CaCl_2$ 浓度为 0.5 mol/L 时微乳区面积最大。不同浓度的盐溶液中, 微乳区面积呈现出先增

大后减小的趋势。这是因为钙离子具有很强的亲水性，少量 Ca^{2+} 发生水化作用时，能够使得水核内容纳更多的水分子，增溶水的能力增强，形成的微乳区域面积变大；当 Ca^{2+} 浓度继续增大到一定程度后， Ca^{2+} 会同表面活性剂 OP-10 竞争结合水，使得部分 OP-10 亲水基周围的水分子脱落，失去表面活性，浊点也相应降低，导致微乳液增溶水的能力下降，形成区域变窄，水核半径也相应减小。

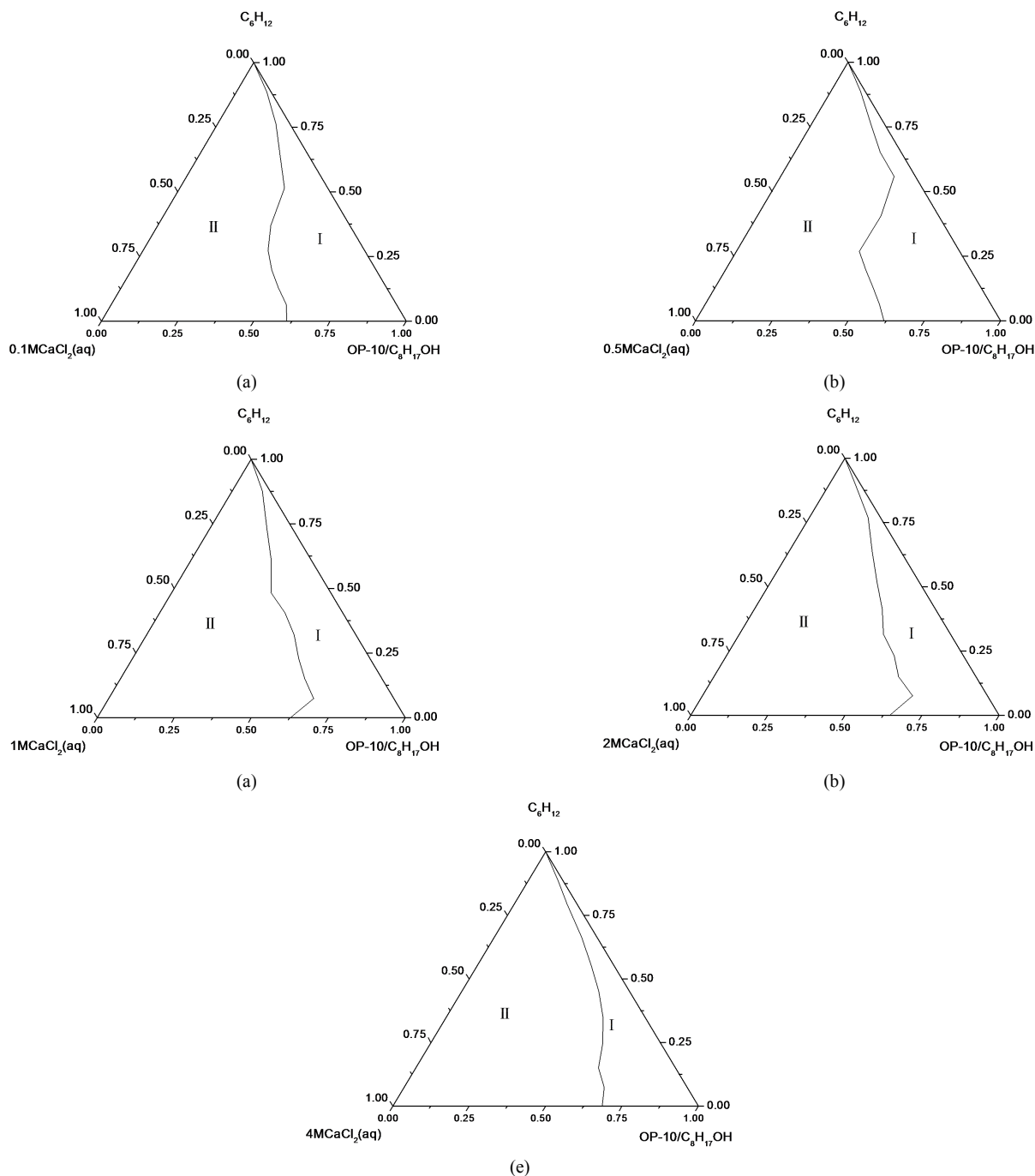


Figure 7. The quasi-ternary microemulsion region phase diagram at different molar concentration of calcium chloride (n-octanol). (a) 0.1 mol/L; (b) 0.5 mol/L; (c) 1.0 mol/L; (d) 2.0 mol/L; (e) 4.0 mol/L

图 7. 不同氯化钙摩尔浓度的拟三元体系微乳区域相图(正辛醇)。(a) 0.1 mol/L; (b) 0.5 mol/L; (c) 1.0 mol/L; (d) 2.0 mol/L; (e) 4.0 mol/L

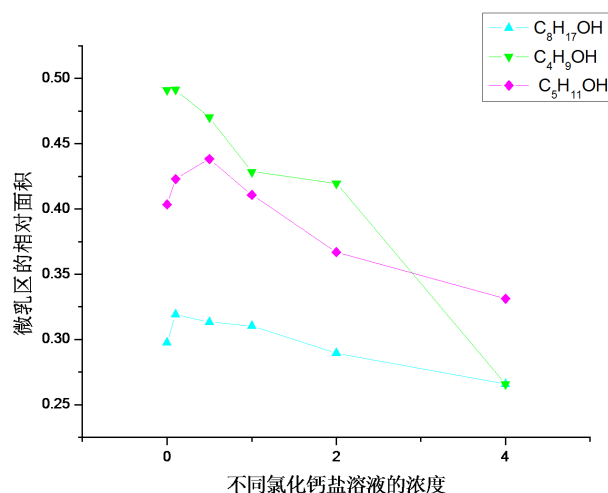


Figure 8. The relative area of microemulsion region in quasi-ternary phase diagram at different mass ratio of OP-10 to n-butanol/isopentyl alcohol/ n-octanol (CaCl₂ aqueous solutions)

图8. 不同OP-10/正丁醇/异戊醇/正辛醇质量比的拟三元体系相图微乳区域的相对面积(CaCl₂水溶液)

4. 结论

实验绘制了一系列辛烷基酚聚氧乙烯醚(OP-10) + 醇(正丁醇、异戊醇或正辛醇) + C₆H₁₂ + 水(或CaCl₂水溶液)拟三元体系相图,分别研究了正丁醇、异戊醇或正辛醇的添加比例和CaCl₂水溶液的浓度对微乳区域的影响,随着OP-10与正丁醇、异戊醇或正辛醇的质量比逐渐增大,拟三元体系中微乳区的相对面积先增大,后减小;当OP-10:正丁醇 = 1.5:1, OP-10:异戊醇 = 2:1, OP-10:正辛醇 = 2.5:1时,微乳区的相对面积最大。在CaCl₂水溶液相图中,三种醇微乳区相对面积总体上呈现先增大后减小的变化趋势,且添加不同醇对微乳区相对面积的影响也不同,其中微乳区面积最大时的正丁醇、异戊醇和正辛醇体系所对应的CaCl₂浓度分别为0.1 mol/L、0.5 mol/L和0.1 mol/L。

参考文献

- [1] Hoar, T.P. and Schulman, J.H. (1943) Transparent Water-in-Oil Dispersions: The Oleopathic Hydro-Micelle. *Nature*, **152**, 102-103. <https://doi.org/10.1038/152102a0>
- [2] Jalali, F. and Gerandaneh, A. (2011) Micellization of Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) in Mixed Solvents and in the Presence of Potassium Bromide. *Journal of Dispersion Science and Technology*, **32**, 659-666. <https://doi.org/10.1080/01932691003800049>
- [3] Reed, R.L. and Healy, R.N. (1977) Some Physicochemical Aspects of Microemulsion Flooding: A Review. In: Shah, D.O. and Schechter, R.S., Eds., *Improved Oil Recovery by Surfactant and Polymer Flooding*, Academic Press, New York, 383-437. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-641750-0.50017-7>
- [4] Rosano, H.L. (1987) *Microemulsion Systems*. CRC Press, Boca Raton.
- [5] 杨若木, 刘云. 微乳液在化妆品及洗涤剂中的应用[J]. 日用化学工业, 2005, 35(1): 49-51.
- [6] 杨勇. 血红蛋白作为模拟酶和固定化酶的研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2004.
- [7] 麦振洪, 赵永男. 微乳液技术制备纳米材料[J]. 物理, 2001, 30(2).
- [8] 李真. 多重乳液法制备固体脂质纳米粒的研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2009.
- [9] 孙华. 氰戊菊酯微乳液形成过程的研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2005.
- [10] Schott, H., Royce, A.E. and Han, S.K. (1984) Effect of Inorganic Additives on Solutions of Nonionic Surfactants: VII. Cloud Point Shift Values of Individual Ions. *Journal of Colloid and Interface Science*, **98**, 196-201.

[https://doi.org/10.1016/S0021-9797\(84\)80026-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9797(84)80026-0)

- [11] 袁迎, 刘会娥, 徐明明, 丁传芹, 陈爽, 齐选良. 十二烷基苯磺酸钠微乳液体系中无机盐的作用规律[J]. 化工学报, 2014, 65(10): 4025-4031.
- [12] 金瑞娣, 贾雪平. AS/C12-4-C12·2Br/醇/己烷/盐水中相微乳液的研究[J]. 化学世界, 2010, 51(11): 646-648.
- [13] Nedihouia, M. (2007) Determination of Micellar System Behavior in the Presence of Salt and Water-Soluble Polymers Using the Phase Diagram Technique. *Desalination*, **206**, 589-593. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.04.065>
- [14] 夏茹, 吴彬, 张岭. 三氟氯氟菊酯微乳剂的相图研究[J]. 农药, 2005, 44(2): 56-58.
- [15] 赵辉, 路福绥, 李培强. 醇对高效氯氟菊酯微乳液相图的影响[J]. 应用化学, 2006, 23(5): 503-507.
- [16] 雷秋芬, 李学丰, 张高勇, 等. 新型农药丙酯草醚对微乳液体系相行为的影响[J]. 应用化学, 2007, 24(1): 46-49.
- [17] Yaghmur, A., Abraham, A. and Gartl, N. (2002) Phase Behavior of Microemulsions Based on Food-Grade Nonionic Surfactants; Effect of Polyols and Short-Chain Alcohols. *Colloids and Surfaces A*, **209**, 71-78. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00168-1](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00168-1)
- [18] 张春华, 黄启良, 王忠伟, 等. 农药微乳剂复配表面活性剂的筛选与优化[J]. 农药, 2006, 45(10): 667-669.
- [19] Schulman, J.H., Stoeckenius, W. and Prince, L.M. (1959) Mechanism of Formation and Structure of Micro Emulsions by Electron Microscopy. *The Journal of Physical Chemistry B*, **63**, 1677-1680. <https://doi.org/10.1021/j150580a027>
- [20] Schwuger, M.J., Stickdorn, K. and Schomaecker, R. (1995) Microemulsions in Technical Processes. *Chemical Reviews*, **95**, 849-864. <https://doi.org/10.1021/cr00036a003>
- [21] 朱福送, 杨秀全, 白亮. 助表面活性剂对乙草胺微乳液相图的影响[J]. 精细化工, 2010, 27(7): 646-649.
- [22] 陈中元, 谷晓昱. 助表面活性剂醇对柴油微乳液的影响[J]. 石油化工, 2010, 39(4): 398-400.
- [23] 刘星言, 曾昭武, 刘宏, 等. 口服榄香烯微乳的制备与表征[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(21): 3933-3935.
- [24] 汪志银, 朱慧, 王兆伦, 等. 醇的链长对 Triton X-100 微乳液的调控[J]. 应用化学, 2007, 23(10): 1081-1084.
- [25] 崔正刚, 殷福珊. 微乳化技术及应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 202.