

磷酸酯乙醇胺与硬脂酸和十八醇二元混合体系 单层膜的热力学特性和 AFM 观测

常怡光, 孙润广, 郝长春

(陕西师范大学物理学与信息技术学院生物物理与生物医学工程研究室, 西安 710062)

摘要 利用表面压力-平均分子面积 (π - A) 曲线的关系, 分别研究了在水/空气界面上形成的磷酸酯乙醇胺 (PE)与硬脂酸 (SA)和十八醇 (OD)二元混合体系的热力学特性. 根据对弹性模量 (C_s^{-1})、过量分子面积 (A_{ex})以及表面过量吉布斯自由能 (ΔG_{ex})等热力学参数的数据计算, 定量分析了混合单层膜分子之间的相互作用. 实验结果表明, PE/SA 和 PE/OD 单层膜两种组分之间摩尔比对其热力学参数有影响. 热力学分析表明, 在 $X_{SA} = 0.2$ 、 0.8 和 $X_{OD} = 0.8$ 处, PE/SA 和 PE/OD 二元混合体系的热力学参数 [过量分子面积 (A_{ex}) 和表面过量吉布斯自由能 (ΔG_{ex})] 相对理想状态均表现为负偏差作用, 说明分子之间的作用为引力作用. 相反, PE/OD 二元体系在 $X_{OD} = 0.2$ 、 0.4 、 0.6 处, 表现为正偏差作用, 这说明分子之间的作用为斥力作用. AFM 观测为 PE/SA 和 PE/OD 单层膜热力学特性的理论分析提供了有力的支持.

关键词 磷酸酯乙醇胺; 单层膜; 弹性模量; 过量吉布斯自由能; 原子力显微镜

中图分类号 O641 文献标识码 A 文章编号 0251-0790(2010)03-0559-07

细胞膜是细胞与外界环境分离的屏障, 天然的渗透性结构不仅保护细胞内部免受外界环境的损伤, 而且还担负着细胞内外的离子和代谢物的运输, 并参与细胞之间的信息传递和整合过程^[1,2]. 但细胞的生长、分化、衰老、凋亡以及应激反应, 常使得生物膜的正常功能受到不同因素、不同程度的伤害而引发多种疾病, 如尼曼-皮克氏病、动脉粥样硬化症及高血压等^[3,4]. 因此, 对生物膜特性的研究不仅对研究细胞膜的物质运输、信号整合和传递有重要的生物学意义, 也进一步为研发新药及指导临床医疗提供参考依据.

体外模拟组装生物膜是研究生物膜最简单有效的方法之一. Langmuir-Blodgett (LB) 膜技术是一种精确控制薄膜厚度和分子结构的制膜技术^[5], 是制备有序单分子层最方便和最有效的方法. LB 膜技术已被广泛应用在微电子学、固体物理、表面化学、分子生物学以及膜生物学等许多领域^[6-9]. 特别值得关注的是 LB 膜技术在生物膜的模拟研究中的应用^[10,11]. 模拟组装的生物膜是含有不同两性分子的非均匀混合物. 区分两性分子的主要依据是其极性头基的结构和羟基链的长度和饱和度. 分子的不同结构又影响分子之间的相互作用. 磷脂酰胆碱 (PC)和磷酸酯乙醇胺 (Phosphatidylethanolamine, PE) 均是生物膜中的重要分子, 均由一个亲水的头部和 2 个疏水的尾部组成, 亲水头部带一个单位正电荷的两性分子. 它们的主要区别在于极性的头部, PC 极性头部较大, 易形成柱状结构; PE 极性头部较小, 易形成锥状结构; PE 是构成生物膜骨架的基本组分之一, 多位于质膜的原生质 (Protoplasmic, PS) 表面, 主要参与细胞信号传导. 硬脂酸 (Stearic acid, SA) 和十八醇 (Octadecanol, OD) 具有相同的羟基链 (C_{18}) 和不同的极性头基. 磷酸酯乙醇胺、硬脂酸和十八醇均可在水/空气界面形成稳定的单分子层.

Ram 等^[12] 曾用柱状结构的磷脂酰胆碱 (PC) 分子与硬脂酸和十八醇 (OD) 作为生物膜模型进行了研究. 但有关锥状结构的磷酸酯乙醇胺 (PE) 分子与硬脂酸和十八醇 (OD) 作为生物膜脂分子的模型的研究工作尚不多见. 本文将锥状结构的磷酸酯乙醇胺 (PE) 分子与具有相同羟基链 (C_{18}) 和不同极性

收稿日期: 2009-06-26

基金项目: 国家自然科学基金 (批准号: 20772077) 和教育部高等学校博士学科点专项科研基金 (批准号: 200807180001) 资助.

联系人简介: 孙润广, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事生物物理与生物医学工程研究. E-mail: sunrunguang@snmu.edu.cn

头基的硬脂酸和十八醇作为生物膜模型,研究了混合单层膜不同组分之间的相互作用及其热力学特性.根据LB膜技术测得混合单层膜表面压力-平均分子面积(π - A)曲线,计算并系统分析了二元组分单层膜的弹性模量和过量吉布斯自由能等热力学参数,比较两亲分子的不同头基与磷脂酰乙醇胺的作用.通过混合和单一组分的比较,评估混合单层膜两种组分之间的可混合性和相互作用,并在此基础上对单层膜的表面形态进行原子力显微镜检测.

1 实验部分

1.1 试剂

磷脂酰乙醇胺(Phosphatidylethanolamine, PE)购自天津市东方卫生材料厂;硬脂酸(Stearic acid SA)和十八醇(1-Octadecanol OD)均购自天津市津北精细化工有限公司;氯仿和酒精等其它试剂均为分析纯;水为离子交换二次蒸馏水.

1.2 混合单层膜的 π - A 曲线和LB膜的制备

将不同摩尔比的PE/SA和PE/OD溶解在氯仿/甲醇(体积比3:1)中,形成浓度为0.5 $\mu\text{mol/mL}$ 的有机溶液.LB膜仪是芬兰KSV公司生产的Minitrough型膜分析仪器(膜天平测量范围:0~150 mN/m ,测量精度为0.01 mN/m ,水槽尺寸364 $\text{mm} \times 75 \text{mm} \times 5 \text{mm}$),亚相为新配制磷酸盐缓冲液(PBS, $\text{pH} = 7.4$),亚相温度由循环水装置控制在 $25 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$.用微量进样器将适量的溶液滴加到缓冲液亚相表面,使其自动迅速铺展.15 min后,待亚相表面上的有机溶剂完全挥发后,以1 mm/min 的速度压膜,膜表面压力由Minitrough吊片式膜天平监测,并由计算机自动记录数据,每组数据重复3次.在固定膜压下,以1.5 mm/min 的速度用Y型提膜法将单层分子膜转移到新解离的亲水性云母基片上.

1.3 原子力显微镜检测

原子力显微镜(WET-SPM-9500J3 日本岛津公司),探针材料为 Si_3N_4 ,针尖曲率半径为10 nm ,悬臂弹性常数为0.06 N/m ,扫描速度为1 Hz ,最大扫描范围125 $\mu\text{m} \times 125 \mu\text{m}$,在室温环境下采用接触模式进行测量.

2 结果与讨论

2.1 π - A 曲线的测定

图1(A)和(B)给出了PE/SA和PE/OD二元体系不同配比的单分子层在磷酸盐缓冲液表面上的表面压力-平均分子面积(π - A)曲线,其中 X 表示在混合单层膜中SA和OD配比,取值分别为0.2, 0.4, 0.6, 0.8和1.由图1可以看出,混合单层膜 π - A 曲线基本介于两种单一组分之间,并随着硬脂酸和十八醇比例的增加,较规律地排列在两种单一组分之间.该结果与文献[9~11, 13]报道一致.磷脂酰乙醇胺的气相过程较短,硬脂酸和十八醇气相过程较长.这表明硬脂酸和十八醇相变之前的有效平均分子面积均较小,磷脂酰乙醇胺所占的平均分子面积较大.同时,可能由于磷脂酰乙醇胺分子亲水头部带一个单位正电荷,分子之间相互排斥导致了平均分子面积的进一步扩张^[14],使得磷脂酰乙醇胺较早地发生相变.由图1中还可可见,两组混合体系的 π - A 曲线均在表面压力大约25 mN/m 时出现较

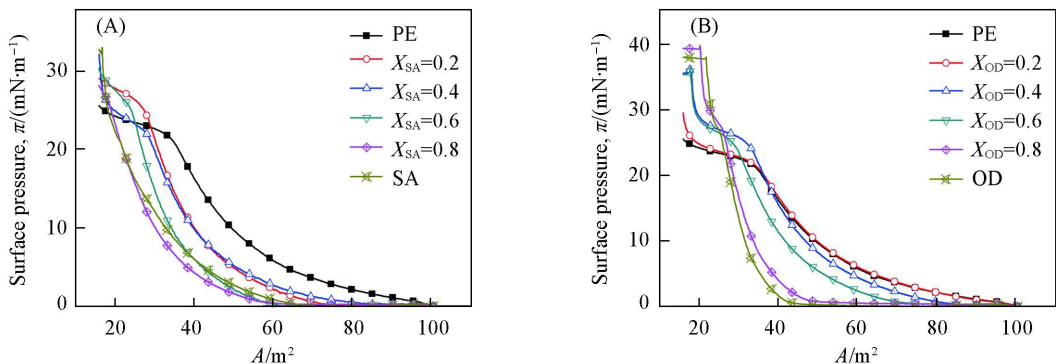


Fig 1 Surface pressure area isotherms of mixed monolayers of DPPC with stearic acid (A) and 1-octadecanol (B)

平缓的上升区, 单分子层开始相变为液相-凝胶相共存, 单分子层在表面压力约为 27.5 mN/m 处排列更加紧密, 出现固相或体相. 这表明硬脂酸和十八醇相同的羟基链在相互作用中可能起了重要作用.

2.2 PE/SA 和 PE/OD 二元混合体系单层膜分析

2.2.1 PE/SA 和 PE/OD 二元混合体系单层膜弹性模量分析 图 2(A)和 (B)给出了 PE/SA 和 PE/OD 二元混合体系所对应的表面压力下的弹性模量 C_s^{-1} . 弹性模量 C_s^{-1} 是分析单分子层的重要参数, 其计算公式如下^[15-16]:

$$C_s^{-1} = -A \left(\frac{\partial \pi}{\partial A} \right)_T \quad (1)$$

式中, A 和 π 分别表示平均分子面积和表面压力. 由图 2 可见, 随着表面压力的增加, PE/SA 和 PE/OD 系统的弹性模量都出现了回升, 这与上述的表面压力出现较长的上升区相对应. 随着两种组分的摩尔比的改变, 弹性模量也出现规律性变化. 混合 PE/SA 和 PE/OD 单层膜的弹性模量介于两种单一组分之间. 在 PE/SA 和 PE/OD 二元混合体系中, 相同摩尔比的 PE/SA 单层膜的弹性模量值大于 PE/OD. 特别是在 $X_{SA} = 0.2$ 和 $X_{OD} = 0.2$ 处, PE/SA 单层膜的弹性模量远高于纯 PE, 但是 PE/OD 单层膜的弹性模量却低于纯 PE, 表明在该位置处, PE/SA 和 PE/OD 二元体系的可混合性有着明显的不同, 这与热力学理论分析相一致. 纯 SA 和 OD 的弹性模量最大值分别在 694 和 1363 mN/m 附近, 表明在相互作用中, 硬脂酸和十八醇不同的极性头基可能起到重要作用.

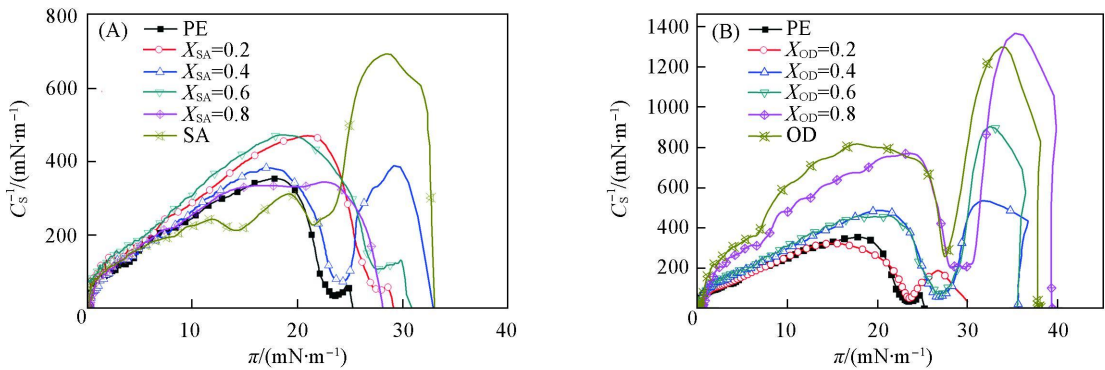


Fig 2 Compression modulus (C_s^{-1}) vs surface pressure (π) dependencies for mixed monolayers PE/SA (A) and PE/OD (B)

2.2.2 PE/SA 和 PE/OD 二元体系单层膜相互作用分析 图 3(A)和 (B)给出了 PE/SA 和 PE/OD 二元混合体系单层膜在表面压力分别为 5、10、15 和 20 mN/m 时的有效平均分子面积, 这些值是在 π - A 曲线基础上得到的, 曲线显示为两种组分理想混合状态下的有效平均分子面积. 虚线表示两种组分理想混合状态下的平均分子面积. 对于理想混合的情况, 平均分子面积计算公式如下^[17]:

$$A_{\text{mix}} = A_1 X_1 + A_2 X_2 \quad (2)$$

式中, A_1 和 A_2 分别表示在一定表面压力下单一组分的平均分子面积, X_1 和 X_2 分别为 1 和 2 组分在混合

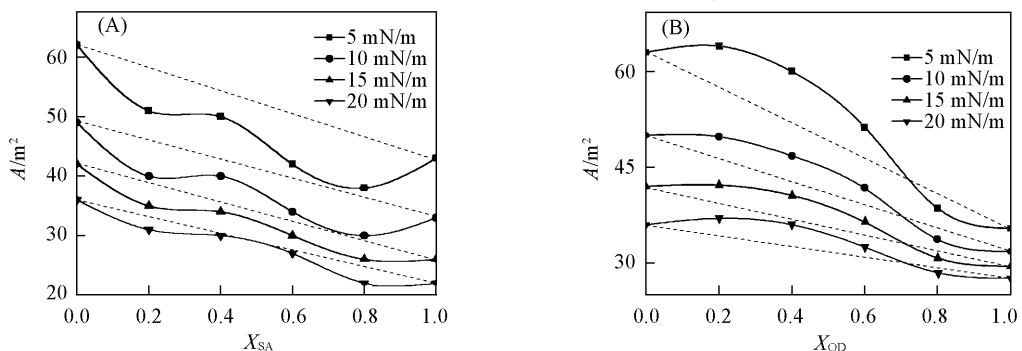


Fig 3 Mean area per molecule (A) vs composition plots for mixed monolayers PE/SA (A) and PE/OD (B) at different surface pressures

单层膜中所占的摩尔分数, A_{12} 表示两种组分理想混合下的平均分子面积. 在图 3 中, 混合单层膜的有效平均分子面积偏离理想混合下的分子面积, PE/SA 和 PE/OD 二元混合体系分别在 $X_{SA} = 0.2, 0.8$ [图 3(A)] 和 $X_{OD} = 0.8$ [图 3(B)] 处出现了负偏差, 这说明在该处分子之间发生的相互作用为引力作用, 表明 PE/SA 和 PE/OD 二元体系易于混合. 有趣的是, 十八醇在 $X_{OD} = 0.2, 0.4, 0.6$ [图 3(B)] 处, PE/OD 二元混合体系却出现了正偏差. 这说明分子之间发生了排斥作用, 表明 PE/OD 二元体系不易混合.

在混合单层膜中, 不同分子间的相互作用也可以用过剩分子面积方程进行定量分析^[18-19]. 过剩分子面积是组分 1 和 2 的混合单层膜的有效分子面积与理想混合下平均分子面积的差值, 其公式如下^[18-20]:

$$A_{ex} = A_{12} - A_{id} = A_{12} - (A_1X_2 + A_2X_1) \quad (3)$$

式中, A_{12} 和 A_{ex} 分别表示混合单层膜的有效分子面积和过剩分子面积. 当 1 和 2 组分不可混合或者理想混合时, A_{ex} 应该为零^[20-21]. 如果实验值与理想值出现了负偏差则表明分子间的相互作用为吸引力, 体系易于混合; 相反, 如果出现了正偏差, 则表明分子间的相互作用为排斥力, 体系不易混合^[21].

图 4(A) 和 (B) 给出了在一定表面压力下的 PE/SA 和 PE/OD 二元体系单层膜的过剩分子面积. PE/SA 和 PE/OD 二元体系单层膜的 A_{ex} 相对理想混合均出现偏差. 在 $X_{SA} = 0.2, 0.8$ [图 4(A)], $X_{OD} = 0.8$ [图 4(B)] 处, PE/SA 和 PE/OD 二元混合体系出现了负偏差, 说明分子之间表现了引力作用, 易于混合. 但 PE/OD 单层膜在 $X_{OD} = 0.2, 0.4, 0.6$ [图 4(B)] 处出现了正偏差, 表明 PE/OD 二元体系在该处不易混合, 表现为斥力相互作用. 由图 4 可见, 随着表面压力的增大, 偏差程度趋于变小. 在表面压力为 5 mN/m 时, PE/SA 和 PE/OD 二元体系单层膜都出现最大偏差. 这可能是由于 SA 和 OD 不同的分子结构引起的, 表明表面压力越大, 分子之间越紧密^[20].

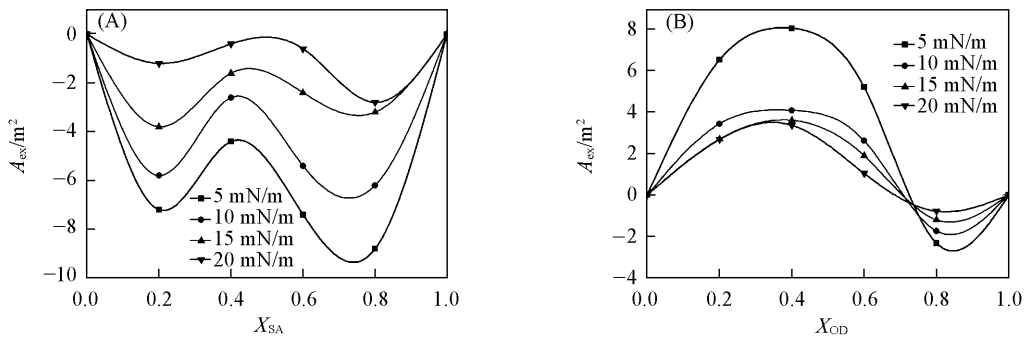


Fig 4 Excess mean area per molecule (A_{ex}) vs. composition plots for mixed monolayers PE/SA (A) and PE/OD (B) at different constant surface pressures

2.2.3 PE/SA 和 PE/OD 热力学特性分析 为进一步定量地研究单层膜, 对其热力学特性进行了定量检测. 混合单层膜的吉布斯自由能的变化 (ΔG_{mix}) 可表示为

$$\Delta G_{mix} = \Delta G_{id} + \Delta G_{ex} \quad (4)$$

式中, ΔG_{id} 和 ΔG_{ex} 分别表示理想状态下的吉布斯自由能的变化和过量吉布斯自由能. ΔG_{ex} 为混合单层膜的相互作用和热力学特性的定量分析提供了强有力的理论依据. ΔG_{ex} 可以在 π - A 曲线的基础上直接计算得到^[9, 17, 19]:

$$\Delta G_{ex} = N \int_0^{\pi} (A_{12} - A_1X_1 - A_2X_2) d\pi \quad (5)$$

若 1 和 2 两种组分不可混合或者理想混合时, $\Delta G_{ex} = 0$ 混合单层膜的稳定性最好; 若 $\Delta G_{ex} < 0$ 说明与单一组分的单层膜相比, 混合单层膜不同分子之间相互作用出现较强的引力或者说较弱的斥力, 相反, 若 $\Delta G_{ex} > 0$ 则说明出现较强的斥力^[17-22].

图 5 给出了一定表面压力下磷酸酯乙醇胺与硬脂酸和十八醇单层膜的过量吉布斯自由能. 从图 5(A) 可以看出, 磷酸酯乙醇胺和硬脂酸单层膜的 ΔG_{ex} 出现负值, 说明两种分子之间相互作用表现为引力作用, 有利于出现分子凝聚, 也表明混合单层膜的热力学稳定性较强. PE/SA 二元体系在 $X_{SA} =$

0.2, 0.8处, ΔG_{ex} 均出现较大负偏差, 说明在该摩尔比处 PE/SA 二元体系分子之间相互作用的引力较强. 从图 5(B)中可以看出, 在 $X_{OD} = 0.8$ 位置处, ΔG_{ex} 也出现明显负偏差, 表明磷脂酰乙醇胺和十八醇间也存在较强的引力作用. 但在 $X_{OD} = 0.2$ 位置处, PE/OD二元体系的 ΔG_{ex} 呈现出较大的正偏差, 这说明分子之间表现为较强的斥力作用. 在 $X = 0.2$ 处, PE/SA和 PE/OD单层膜的 ΔG_{ex} 有较大反差, 表明 SA和 OD不同的结构与与磷脂酰乙醇胺相互作用中起了作用. 在图 5(A)中, 随着表面压力的增加, ΔG_{ex} 数值越小, 基本呈规律排列. PE/OD二元混合体系单层膜的 ΔG_{ex} 值随着表面压力的增加呈规律分布 [图 5(B)].

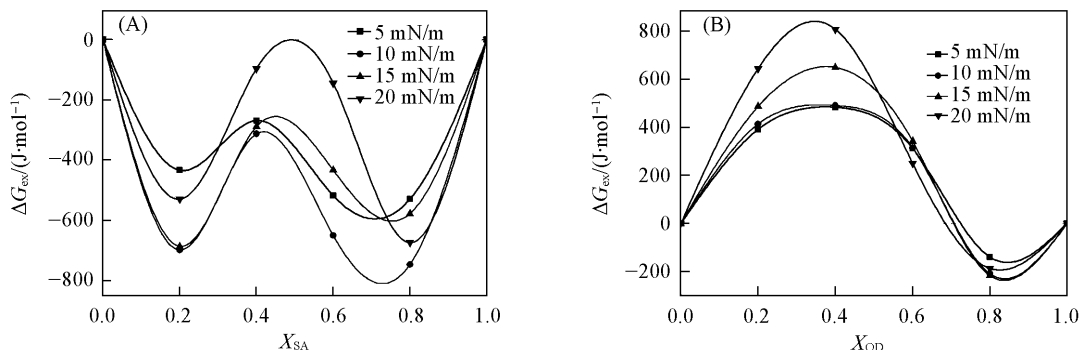


Fig 5 Excess free energy of mixing (ΔG_{ex}) vs. composition plots for mixed monolayers PE/SA (A) and PE/OD (B) at different surface pressures

2.3 PE/SA和 PE/OD混合单层膜的 AFM 观测

图 6给出了表面压力为 15 mN/m、扫描范围为 $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ 时磷脂酰乙醇胺与硬脂酸在不同比例下单层膜的 AFM 形貌图. 如图 6(A)所示; 纯磷脂酰乙醇胺形成较大凝聚片层结构单分子层; 由图 6(B)可见, 硬脂酸含量 $X_{SA} = 0.2$ 时呈现片层、颗粒和链状共存结构. 图 6(C)和 (D)分别为脂肪酸含量为 $X_{SA} = 0.4$ 和 $X_{SA} = 0.6$ 时出现的片状和颗粒共存结构. 纯硬脂酸单层膜呈现小颗粒结构, 如图 6(F)所示. 当磷脂酰乙醇胺比例增加 ($X_{SA} = 0.8$)时 [如图 6(E)], 呈现出较均匀的小颗粒聚集为较小片层的结构. 结合上面的表面过量吉布斯自由能的数据, $X_{SA} = 0.2$ 和 $X_{SA} = 0.8$ 时出现最小值, 表明磷脂酰

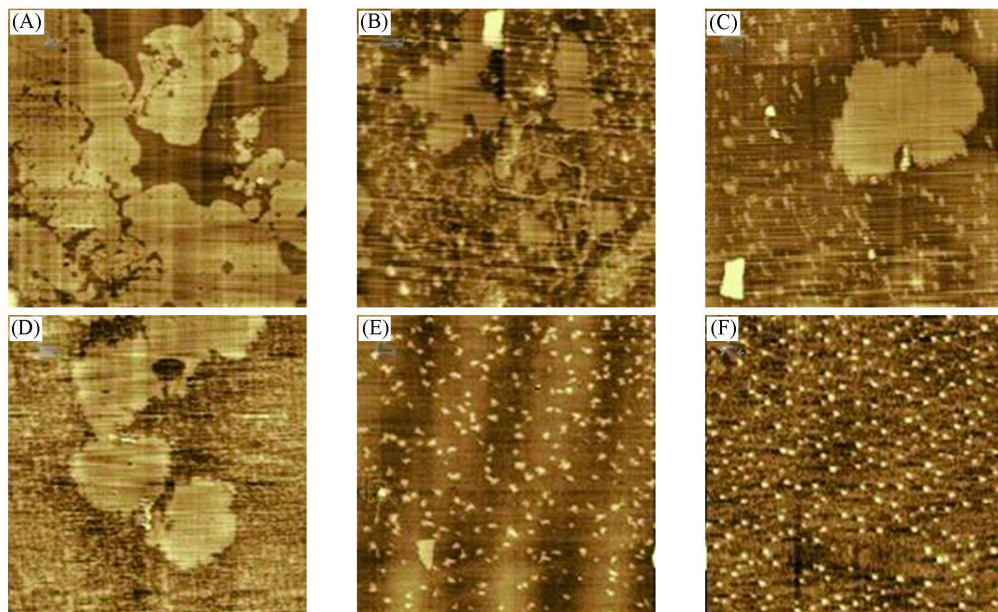


Fig 6 AFM images of phosphatidylethanolamine/stearic acid monolayers deposited at the surface pressure of 15 mN/m with different molar ratios

(A) Pure phosphatidylethanolamine; (B) $X_{SA} = 0.2$; (C) $X_{SA} = 0.4$; (D) $X_{SA} = 0.6$; (E) $X_{SA} = 0.8$; (F) pure stearic acid. Scanning range: $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$.

乙醇胺与硬脂酸两种分子在该比例下存在较强的相互作用, 从而形成图 6(B)和(E)稳定性较强的结构.

图 7给出了磷酸酰乙醇胺与十八醇在上述条件相同情况下单层膜的 AFM 形貌图. 图 7(A)~(F)为十八醇的比例依次为 $X_{OD} = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ 和 1 时的 AFM 图. 当十八醇含量 $X_{OD} = 0.2$ 时呈现出片层和颗粒共存结构, 如图 7(B)所示. 由图 7(C)可见, $X_{OD} = 0.4$ 时呈现出尺度大小较均一的片层结构. 图 7(F)显示纯十八醇单层膜呈现出小颗粒结构. 由图 7(E)可见, 十八醇含量 $X_{OD} = 0.8$ 时, 开始出现大小尺度较均匀的片层和颗粒共存结构. 与上述的表面过量吉布斯自由能的数据相结合可知, 当 $X_{OD} = 0.8$ 时过量吉布斯自由能出现最小值, 表明在此位置两种分子出现较强的引力, 易于混合并形成较强的稳定结构 [图 7(E)]. 但是, 在 $X_{OD} = 0.2$ 处过量吉布斯自由能出现了最大值, 说明在此位置上两种分子出现较强的斥力作用, 不可混合.

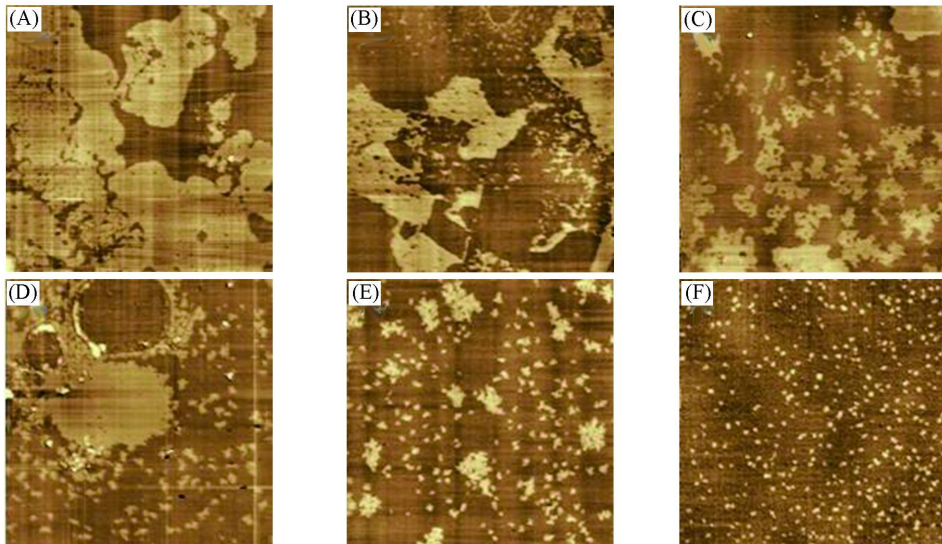


Fig 7 AFM images of phosphatidylethanolamine/1-octadecanol monolayers deposited at the surface pressure of 15mN/m with different molar ratios

(A) Pure phosphatidylethanolamine (B) $X_{OD} = 0.2$ (C) $X_{OD} = 0.4$ (D) $X_{OD} = 0.6$ (E) $X_{OD} = 0.8$
(F) pure 1-octadecanol Scanning range: $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$.

在图 6和图 7中, 混合单层膜都明显呈现两种不规则的形状和大小的独特微区共存, 这说明在单层膜中出现了相分离. 片层微区的出现是由于富含磷酸酰乙醇胺, 相应的颗粒微区结构应该是富含硬脂酸和十八醇所致. 随着硬脂酸和十八醇比例的增加, 磷酸酰乙醇胺微区的数量和尺寸呈现减少趋势.

3 结 论

PE/SA 和 PE/OD 二元混合体系单层膜的弹性模量、过量吉布斯自由能及相互作用都与两种分子之间的比例有关. 在 PE/SA 二元混合体系中, 当硬脂酸的含量 $X_{SA} = 0.2, 0.8$ 时, 过量分子面积出现负偏差, 过量吉布斯自由能为最小值. 说明分子之间相互作用表现为较强引力作用, 易于混合, 形成较稳定的单层膜. 在 PE/OD 二元混合体系中, 在十八醇含量 $X_{OD} = 0.2$ 位置处, 过量分子面积出现正偏差, 过量吉布斯自由能为明显正偏差, 表明分子之间相互作用表现为较强斥力, 不易混合, 形成的单层膜不稳定. 通过 AFM 直接观测一定表面压力下的单层膜的形貌图, 为 PE/SA 和 PE/OD 二元混合体系单层膜的压缩系数、过量吉布斯自由能及相互作用等理论分析提供了有力的支持, 也为进一步研究混合单层膜分子间相互作用提供了有利的实验依据.

参 考 文 献

[1] Kap G.. Cell and Molecular Biology: Concepts and Experiments, Fourth Ed [M], New York: Wiley Son, 2004

- [2] Katarzyna H. W., Pawł W.. Chem. Phys Lipids[J], 2007, **150**: 22—34
- [3] Hao C. C., Sun R. G., Zhang J, *et al.* Colloids Surf B: Biointerfaces[J], 2009, **69**: 201—206
- [4] CHENG Shi(程时). Physiology(生理科学) [J], 1988, **8**(5): 273—277
- [5] Blodgett K. B.. Phys Rev [J], 1937, **51**: 964
- [6] HAO Chang-Chun(郝长春), SUN Run-Guang(孙润广), ZHANG Jing(张静). Chem. J Chinese Universities(高等学校化学学报) [J], 2009, **30**(5): 913—918
- [7] de la Fuente Ferià J., Rodríguez Patino J M.. Colloids Surf [J], 1995, **104**: 29—40
- [8] Yue X., Steffen P., Dobner B., *et al.* Colloids Surf A: Physicochem. Eng Asp [J], 2004, **250**: 57—65
- [9] Perillo M. A., Maestri D. M.. Colloids Surf: A Physicochem. Eng Asp [J], 2005, **256**: 199—205
- [10] Gambinossi F., Mecheri B., Nocentini M., *et al.* Chem ist [J], 2004, **110**: 101—117
- [11] Zhai X. H., Gerald B., H ehu th M., *et al.* Colloids Surf: A: Physicochem. Eng Asp [J], 2005, **256**: 51—55
- [12] Rom ao R. I. S., G onealves da Silva A. M.. Chem istry and Physics of Lipids[J], 2004, **131**: 27—39
- [13] Dynarow i z Latka P., Hac-W ydro K.. Colloids Surf B: Biointerfaces[J], 2004, **37**: 21—25
- [14] Hirouchi N., Sannan U L., O sanu S.. Biophys J [J], 2009, **96**: 1415—1429
- [15] Barbara G. M., Maria P.. Thin Solid Film [J], 2008, **16**: 8865—8872
- [16] Davies J T., R ideal E K.. Interfacial Phenomena[M], New York Academic Press 1963 265
- [17] Dynarow i z A. P., Kita K.. Adv Colloid Interf Sci [J], 1999, **79**: 1—17
- [18] Katarzyna H. W., Patrycja D. Ł., Jolanta G., *et al.* Thin Solid Film [J], 2008, **516**: 1197—1203
- [19] Costin I S., Bames G. T.. Colloid Interf Sci [J], 1975, **51**: 106—121
- [20] Lee Y. L., Lin J Y., Chang C. H.. Colloid Interf Sci [J], 2006, **296**: 647—654
- [21] Hao C. C., Sun R. G., Zhang J, *et al.* Sci China Ser B: Chemistry [J], 2009, **52**(2): 117—248
- [22] Gaines G. L.. Insoluble Monolayers at Liquid/Gas Interfaces[M], New York: Wiley-Interscience 1966

Thermodynamic Characteristics and Direct AFM Observation of Binary Mixtures of PE with Stearic Acid and Octadecanol

CHANG YiGuang SUN Run-Guang*, HAO Chang-Chun

(Laboratory of Biophysics and Biomedical Engineering, College of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062 China)

Abstract Thermodynamic characteristics of binary mixtures of phosphatidylethanolamine (PE) with stearic acid (SA), and octadecanol (OD) formed at the air/water were investigated in terms of surface pressure (π)-area (A) relation. On the basis of the data, the thermodynamic parameters of compression modulus (C_s^{-1}), excess mean area per molecule (A_{ex}), and surface excess Gibbs energy (ΔG_{ex}) were calculated. We can quantitatively analyze the molecular interactions in the mixed monolayers. The experimental results showed that the various molar ratios of the two components PE and SA, PE and OD, influenced thermodynamic parameters. The thermodynamic analysis indicated that the thermodynamic parameters [excess molecular area (A_{ex}), surface excess Gibbs energy (ΔG_{ex})] of PE/SA and PE/OD were obtained maximum negative deviation from the ideal behavior at $X_{SA} = 0.2$ – 0.8 and $X_{OD} = 0.2$, suggesting an attractive interaction between molecules. The other way round, the molar ratios of OD at $X_{OD} = 0.2$ – 0.4 – 0.6 were found to be conspicuously maximum positive, suggesting an intermolecular repulsion. The AFM images of mixed PE/SA and PE/OD monolayers are in favor of the theoretic analysis of the thermodynamic characteristics.

Keywords Phosphatidylethanolamine; Monolayer; Compression modulus; Excess Gibbs energy; Atomic force microscopy

(Ed: H, J, Z)