



白燕,宋爽,朱蓓薇,等. NaCl对吐温20与海藻酸钠相互作用的影响[J]. 轻工学报,2022,37(1):26-32.
BAI Y, SONG S, ZHU B W, et al. The effect of NaCl on the interaction between Tween 20 and sodium alginate
[J]. Journal of Light Industry, 2022, 37(1): 26-32. DOI: 10.12187/2022.01.004

NaCl对吐温20与海藻酸钠相互作用的影响

白燕^{1,2,3}, 宋爽¹, 朱蓓薇¹, 孙宏元³, 左文健^{2,3}, 胡梅³

1. 大连工业大学 食品学院, 辽宁 大连 116034;
2. 海南省院士团队创新中心, 海南 三亚 572022;
3. 海南热带海洋学院 食品科学与工程学院, 海南 三亚 572022

摘要: 作为一种阴离子聚电解质,海藻酸钠在溶液中的状态易受电解质的影响。通过测定表面张力、荧光光谱和黏度,研究了非离子表面活性剂吐温20与海藻酸钠的相互作用,以及NaCl对该相互作用的影响。结果表明:吐温20-海藻酸钠复合溶液的表面张力在 cmc 之前高于不添加海藻酸钠的吐温20溶液,海藻酸钠的质量分数越大,表面张力升高越多;加入NaCl溶液后,吐温20-海藻酸钠-NaCl复合溶液的表面张力下降;较高质量分数(0.10%)的海藻酸钠会使吐温20-海藻酸钠复合溶液的 I_1/I_3 下降;在 cmc 之前加入NaCl溶液,吐温20-海藻酸钠-NaCl复合溶液的 I_1/I_3 升高;在吐温20浓度大于 cmc^* 时,吐温20-海藻酸钠复合溶液的黏度略微降低;在吐温20达到一定浓度后,NaCl会促使复合溶液的黏度略微升高。

关键词: 吐温20;海藻酸钠;表面张力;荧光光谱;黏度

中图分类号: TS201.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2022)01-0026-07

0 引言

海藻酸钠是一种从褐藻中提取的聚电解质,由 β -D-甘露糖醛酸和 α -L-古罗糖醛酸通过1-4糖苷键连接而成。海藻酸钠及其表面活性剂复合体系广泛应用于食品、纺织、医药等领域^[1-4]。F. Davarci等^[5]研究发现,在 $CaCl_2$ 溶液中加入吐温20可增强海藻酸钠溶液穿透 $CaCl_2$ 溶液表面的能力,有利于生成球形凝胶微球。J. Mirtic等^[6]研究发现,利用表面活性剂氯化十六烷基吡啶作为海藻酸盐的交联剂制备稳定的可用于溶解难溶性药物(布洛芬)的复合纳米粒子,该表面活性剂在低于其临界胶束浓度(cmc)时可增加药物的溶解

度。亚甲基蓝多存在于印染和纺织工业的废水中,若直接排放对水生生物不利。N. U. Alamin等^[7]研究发现,表面活性剂十二烷基硫酸钠可提高活性炭-海藻酸盐“珠子”对亚甲基蓝的吸附能力。

吐温20(聚氧乙烯(20)失水山梨醇单月桂酸酯)是一种常用的非离子表面活性剂和食品添加剂,由疏水基和亲水基组成,在水中不电离,不易受强电解质无机盐的影响,常用作制备精油类微胶囊的乳化剂^[8]。海藻酸钠也是常用的微胶囊壁材,并常与表面活性剂一起联用^[9-10]。微胶囊的制备一般在较高离子强度的溶液中进行,溶液中较高的离子强度会压缩海藻酸钠这类聚电解质链中带电官能团的双电层,形

收稿日期:2021-11-11

基金项目:国家重点研发计划重点专项子项目(2019YFD0902005)

作者简介:白燕(1982—),女,山东省淄博市人,大连工业大学博士后,海南热带海洋学院副教授,主要研究方向为表面活性剂与大分子的相互作用。E-mail: baiyan416@126.com

通信作者:宋爽(1981—),女,辽宁省大连市人,大连工业大学教授,博士,主要研究方向为海产品中活性多糖的研究与开发。E-mail: songs1008@163.com

成卷曲的链状结构,从而对微胶囊壁材的特性产生较大影响^[11]。基于此,本文拟通过测定表面张力、荧光光谱和黏度,研究吐温20与海藻酸钠的相互作用,并以强电解质NaCl作为溶液的离子强度源,研究其离子强度对该相互作用的影响,以期对吐温20与海藻酸钠在微胶囊领域的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

海藻酸钠(1%溶液黏度为550 mPa·s),青岛明月海藻集团有限公司产;吐温20,生工生物工程(上海)股份有限公司产;苾,美国Sigma公司产;NaCl,天津市福晨化学试剂厂产;甲醇,广东化学试剂厂产。所有溶液均用三次水配制。

1.2 主要仪器与设备

ME104E型分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司产;duNouy环(半径9.55 mm,铂丝半径0.3 mm),承德鼎盛试验机检测设备有限公司产;DC3020型低温恒温槽,上海平轩科学仪器有限公司产;Cary Eclipse型荧光分光光度计,美国安捷伦科技公司产;乌氏黏度计(半径0.6~0.8 mm),台州市椒江区玻璃仪器厂产;76-1A型数显玻璃恒温水浴,S312-90型电动恒速搅拌器,金坛市精达仪器制造有限公司产。

1.3 实验方法

1.3.1 溶液的配制 用三次水溶解吐温20得到母液,采用稀释法配制相应浓度的吐温20溶液;用一定质量分数的海藻酸钠溶液溶解吐温20得到母液,采用稀释法配制相应浓度的吐温20-海藻酸钠复合溶液;称取一定量的NaCl固体溶解于一定浓度的海藻酸钠溶液中,配制加盐海藻酸钠溶液,待用;称取一定量的吐温20,使用加盐海藻酸钠将其溶解作为母液,采用稀释法配制相应浓度的吐温20-海藻酸钠-NaCl复合溶液。

1.3.2 表面张力的测定 采用duNouy环测定吐温20溶液、吐温20-海藻酸钠复合溶液及吐温20-海藻酸钠-NaCl复合溶液的表面张力^[12],低温恒温槽的温度设定为25℃,平行测定5次,结果取平均值。

1.3.3 荧光光谱的测定 量取100 μL苾的甲醇溶

液置于10 mL比色管中,利用N₂吹干,分别加入10 mL吐温20溶液、吐温20-海藻酸钠溶液和吐温20-海藻酸钠-NaCl复合溶液,使苾在溶液中的浓度为10⁻⁶ mol/L,超声振荡30 min,静置2 h后测定其荧光光谱。激发波长为335 nm^[13]。

1.3.4 黏度的测定 将待测溶液倒入乌氏黏度计中,在玻璃恒温槽中进行恒温(25℃)处理,平行测定3次,结果取平均值。增比黏度 $\eta_{sp} = \frac{t-t_0}{t_0}$ ^[14],其中 t 为溶液的流出时间/s, t_0 为水的流出时间/s。

2 结果与分析

2.1 海藻酸钠对吐温20-海藻酸钠复合溶液表面张力的影响分析

表面张力是表面(或界面)上作用力的变化,对水溶液来说,水分子间的作用力较大,而其他分子在表面上的吸附会降低水的表面张力。海藻酸钠对吐温20-海藻酸钠复合溶液表面张力等温线的影响如图1所示。由图1可以看出,未添加海藻酸钠时,由于吐温20分子在空气-水表面上的吸附,当吐温20浓度较小时,吐温20溶液的表面张力随其浓度的增大快速下降;当吐温20浓度大于一定数值后,吐温20分子在空气-水表面上达到最大吸附量,其表面张力基本不再随吐温20浓度的增大而变化,且此时吐温20分子在溶液中聚集成胶束。此转折点称为 cmc ,代表表面活性剂降低水的表面张力的效率;此时的表面张力称为 γ_{cmc} ,代表表面活性剂降低水表面张力的能力^[8]。测得吐温20溶液的 cmc 为 4.95×10^{-5} mol/L, γ_{cmc} 为37.26 mN/m。

加入海藻酸钠后,吐温20-海藻酸钠复合溶液的表面张力在 cmc 之前高于不添加海藻酸钠的吐温20溶液,且海藻酸钠质量分数越大,表面张力升高越多。这可能是因为海藻酸钠会形成疏水空腔结构,吐温20的疏水基进入这些疏水空腔后可形成包结复合物。在阳离子表面活性剂十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)与 β -环糊精的相互作用中也存在类似的现象^[15]。但当吐温20浓度超过 6.96×10^{-5} mol/L时,再增大其浓度,吐温20-海藻酸钠复合溶液的表面张力基本不变。此转折点称为表观临界胶束浓度

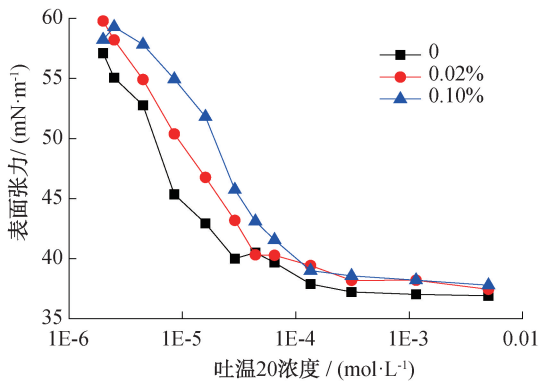


图1 海藻酸钠对吐温20-海藻酸钠复合溶液表面张力等温线的影响

Fig. 1 The effect of sodium alginate on the surface tension isotherms of Tween 20-sodium alginate complexes

(cmc^*),在海藻酸钠质量分数为0.02%的吐温20-海藻酸钠复合溶液中, cmc^* 为 6.96×10^{-5} mol/L, γ_{cmc^*} 为38.43 mN/m;在海藻酸钠质量分数为0.10%的吐温20-海藻酸钠复合溶液中, cmc^* 为 8.30×10^{-5} mol/L, γ_{cmc^*} 为38.38 mN/m。此时的 γ_{cmc^*} 比不添加海藻酸钠时的 γ_{cmc} 略高,可认为存在海藻酸钠且达到最大吸附量时,复合物分子参与了表面吸附。

根据 $cmc^* - cmc = Rm_{\text{海藻酸钠}}$,其中, R 为吐温20分子在海藻酸钠上的包结计量系数/($\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$), $m_{\text{海藻酸钠}}$ 为海藻酸钠的质量浓度/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$),可计算吐温20在海藻酸钠上的包结计量系数为 3.61×10^{-5} mol/g,即1 g海藻酸钠上包结了 3.61×10^{-5} mol的吐温20。此时,不同于 β -环糊精因化学键形成固有疏水空腔,海藻酸钠在溶液中是通过静电作用和疏水作用形成疏水空腔的,且空腔的数量受海藻酸钠质量分数的影响。在海藻酸钠质量分数为0.02%和0.10%时,吐温20在海藻酸钠上的包结计量系数分别为 1.01×10^{-4} mol/g和 3.35×10^{-5} mol/g,即低海藻酸钠质量分数的吐温20-海藻酸钠复合溶液中结合的吐温20相对较多,吐温20分子更容易与低质量分数海藻酸钠溶液中的海藻酸钠分子结合形成复合物。这可能是因为低质量分数时,海藻酸钠分子在溶液中的结构较松散,有利于吐温20分子与海藻酸钠分子的疏水空腔结合。

2.2 NaCl对吐温20-海藻酸钠-NaCl复合溶液表面张力的影响分析

吐温20是非离子表面活性剂,在水中不电离,

不易受强电解质的影响,但海藻酸钠是阴离子多糖,可在水中电离出阴离子聚电解质,易受电解质的影响。图2为NaCl对吐温20-海藻酸钠(0.02%)-NaCl复合溶液表面张力等温线的影响。由图2可以看出,加入浓度为0.10 mol/L的NaCl溶液后,在 cmc^* 之前及相同的吐温20浓度下,吐温20-海藻酸钠(0.02%)-NaCl复合溶液表面张力比未添加NaCl的吐温20-海藻酸钠复合溶液小;且其 cmc^* 为 5.41×10^{-5} mol/L, γ_{cmc^*} 为38.25 mN/m,均低于吐温20-海藻酸钠复合溶液,这可能是因为NaCl压缩了海藻酸钠的双电层,减少了疏水空腔的数量,吐温20分子更多的是以疏水力结合在海藻酸钠的疏水链段上,不利于吐温20在疏水空腔中包结,且不利于吐温20-海藻酸钠复合物在空气-水表面上的吸附。

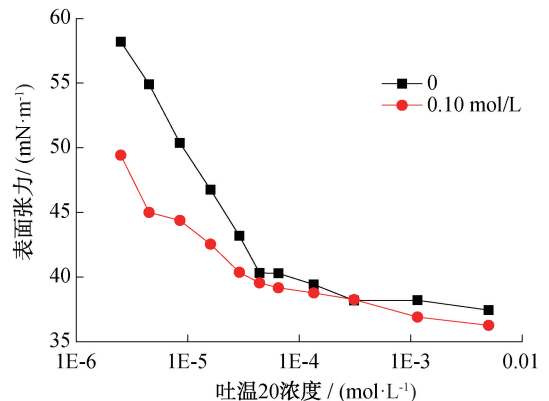


图2 NaCl对吐温20-海藻酸钠(0.02%)-NaCl复合溶液表面张力等温线的影响

Fig. 2 The effect of NaCl on the surface tension isotherm of Tween 20-sodium alginate (0.02%)-NaCl complexes

2.3 海藻酸钠对吐温20-海藻酸钠复合溶液微极性的影响分析

荧光探针是研究表面活性剂与聚合物相互作用的一种简单而有效的技术^[16],与表面张力不同,荧光探针技术一般表征的是体相的性质。芘探针常用来研究胶束体系的微极性,它的荧光光谱有5个峰,第1峰(373 nm)和第3峰(384 nm)强度的比值(I_1/I_3)可以表征芘分子所处环境的微极性, I_1/I_3 越小,芘分子所处环境的微极性越小,因为芘分子本身相对疏水,所以更易增溶在疏水性较大的环境中,即 I_1/I_3 较小的环境中。

图3为海藻酸钠对吐温20-海藻酸钠复合溶液

I_1/I_3 的影响。由图3可以看出,未添加海藻酸钠时,吐温20溶液的 I_1/I_3 随吐温20浓度增大的变化情况分成3个阶段。第一阶段, I_1/I_3 随吐温20浓度的增大基本没有变化,这是因为表面活性剂在体相中没有形成聚集体^[14], 芘分子此时所处的位置还在水中;第二阶段, I_1/I_3 随吐温20浓度的增大快速下降,说明此时芘分子所处环境的微极性下降,这可能是因为体系中的预胶束量随着吐温20浓度的增大而增多,芘分子增溶在较为疏水的预胶束中;第三阶段,吐温20浓度增大到一定程度时,芘分子所处环境的微极性基本不再随吐温20浓度的增大而变化,这时体系中已形成了胶束,芘分子增溶在胶束中,其微环境的疏水性基本不变。当添加了质量分数为0.02%的海藻酸钠时,吐温20-海藻酸钠复合溶液的 I_1/I_3 随吐温20浓度的变化基本与未添加海藻酸钠的吐温20溶液一样。当添加了质量分数为0.10%的海藻酸钠时,吐温20-海藻酸钠复合溶液的 I_1/I_3 随吐温20浓度的变化也分为3个阶段。第一阶段, I_1/I_3 随吐温20浓度的增大依旧变化不大,但是相比未添加海藻酸钠时略小,这可能是因为海藻酸钠分子中有一些疏水空腔,能够略微降低芘分子所处微环境的 I_1/I_3 ,但相较吐温20分子的预胶束及胶束,疏水性相对较小;第二阶段, I_1/I_3 随着吐温20浓度的增大快速下降,这可能是因为吐温20分子在预胶束阶段结合到海藻酸钠分子链上形成复合物,体系的 I_1/I_3 比单独的吐温20分子形成的聚合物低,即疏水性更大,但小于吐温20胶束的疏水

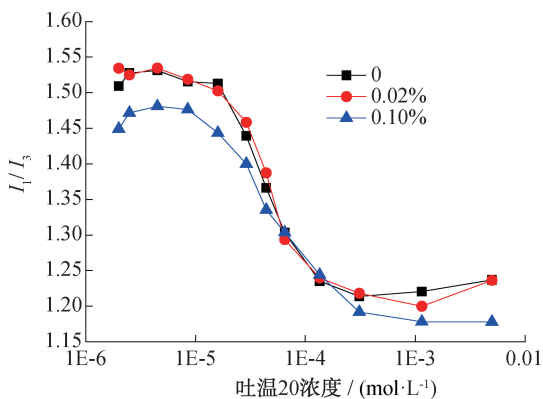


图3 海藻酸钠对吐温20-海藻酸钠复合溶液 I_1/I_3 的影响

Fig. 3 The effect of sodium alginate on I_1/I_3 of Tween 20-sodium alginate complexes

性;第三阶段, I_1/I_3 随吐温20浓度的增大变化较小,这时吐温20分子在海藻酸钠分子上的包结达到饱和,体系中出现了吐温20分子聚集成胶束,这说明芘分子依旧是增溶在吐温20-海藻酸钠复合物中。吐温20-海藻酸钠(0.02%)复合溶液的 I_1/I_3 与吐温20-海藻酸钠(0.10%)复合溶液不同,这可能是因为当海藻酸钠的质量分数足够大时,才会出现适合芘分子包结的疏水空腔,进而有利于形成吐温20-海藻酸钠复合物。

I_1/I_3 开始快速下降时的吐温20浓度可以认为是开始形成预胶束的浓度(cpc)。不添加海藻酸钠的吐温20溶液, cpc 为 2.01×10^{-5} mol/L;添加质量分数为0.02%的海藻酸钠的吐温20-海藻酸钠复合溶液, cpc 为 2.19×10^{-5} mol/L,两者数值较接近。添加质量分数为0.10%的海藻酸钠的吐温20-海藻酸钠复合溶液, cpc 为 1.46×10^{-5} mol/L,小于不添加海藻酸钠的吐温20-海藻酸钠复合溶液,这可能是因为此时吐温20分子结合在海藻酸钠分子上,在较低浓度时就可以形成较为疏水的微区。

2.4 NaCl对吐温20-海藻酸钠-NaCl复合溶液微极性的影响分析

NaCl对吐温20-海藻酸钠(0.02%)-NaCl复合溶液 I_1/I_3 的影响如图4所示。由图4可以看出,加入浓度为0.10 mol/L的NaCl后,当吐温20浓度小于 cpc 时,吐温20-海藻酸钠(0.02%)-NaCl复合溶液的 I_1/I_3 升高到1.60,这可能是因为NaCl压缩了海藻酸钠的双电层,使其结构变得更紧密,不利于芘

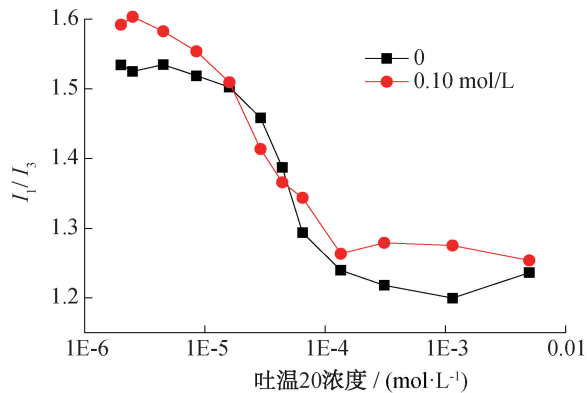


图4 NaCl对吐温20-海藻酸钠(0.02%)-NaCl复合溶液 I_1/I_3 的影响

Fig. 4 The effect of NaCl on I_1/I_3 of Tween 20-sodium alginate (0.02%)-NaCl complexes

分子直接在海藻酸钠疏水空腔中包结,海藻酸钠更多起到电解质的作用,从而增大了芘分子所处环境的微极性。S. Kancharla 等^[17]研究了电解质对阴离子型氟表面活性剂胶束的影响,发现加入 NaCl 会增大芘的 I_1/I_3 。随着吐温 20 浓度的增大,吐温 20-海藻酸钠(0.02%) -NaCl 复合溶液的 I_1/I_3 逐渐降低, cpc 为 6.56×10^{-6} mol/L,远低于不添加 NaCl 的复合溶液,这可能是因为 NaCl 压缩了海藻酸钠的双电层,虽然不利于芘在海藻酸钠空腔中的包结,但却有利于吐温 20 分子与海藻酸钠链上疏水位点的结合,从而形成珠串型的吐温 20-海藻酸钠复合物,而芘可能增溶在吐温 20 与海藻酸钠链上形成的“珠子”中。吐温 20-海藻酸钠-NaCl 复合溶液的 I_1/I_3 下降到平台期时,为 1.28,高于不添加 NaCl 的复合溶液,这可能是因为芘增溶的位置是吐温 20-海藻酸钠复合物,而不是吐温 20 的胶束。

2.5 海藻酸钠对吐温 20-海藻酸钠复合溶液黏度的影响分析

黏度是大分子的重要特征, η_{sp} 代表由于溶质的存在而导致溶剂黏度的增量^[18]。海藻酸钠对吐温 20-海藻酸钠复合溶液 η_{sp} 的影响如图 5 所示。由图 5 可以看出,未添加海藻酸钠时,吐温 20 溶液的 η_{sp} 远小于添加海藻酸钠的吐温 20-海藻酸钠复合溶液的 η_{sp} ,且 η_{sp} 随着吐温 20 浓度的增大略有升高,这可能是因为吐温 20 的胶束增大了内摩擦。当添加海藻酸钠时,复合溶液的 η_{sp} 大幅度提高,说明海藻酸钠质量分数是复合溶液 η_{sp} 的决定因素。当吐温 20 浓度小于 cmc^* 时,复合溶液的 η_{sp} 基本不随吐温 20 浓度的变化而变化;当吐温 20 浓度大于 cmc^* 时,复合溶液的 η_{sp} 都下降。这可能是因为吐温 20 分子夺取了一部分海藻酸钠分子的水化水,导致海藻酸钠分子链卷曲。

2.6 NaCl 对吐温 20-海藻酸钠-NaCl 复合溶液黏度的影响分析

NaCl(0.10 mol/L) 对吐温 20-海藻酸钠-NaCl 复合溶液黏度的影响如图 6 所示。由图 6 可以看出,未添加海藻酸钠时,吐温 20 溶液的 η_{sp} 随着吐温 20 浓度的增大在 cmc 后略有升高。当复合溶液中添加海藻酸钠时,因为 NaCl 压缩了海藻酸钠的双

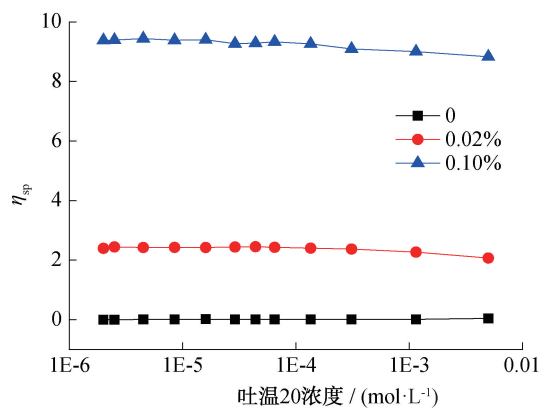


图 5 海藻酸钠对吐温 20-海藻酸钠复合溶液 η_{sp} 的影响

Fig. 5 The effect of sodium alginate on η_{sp} of Tween 20-sodium alginate complexes

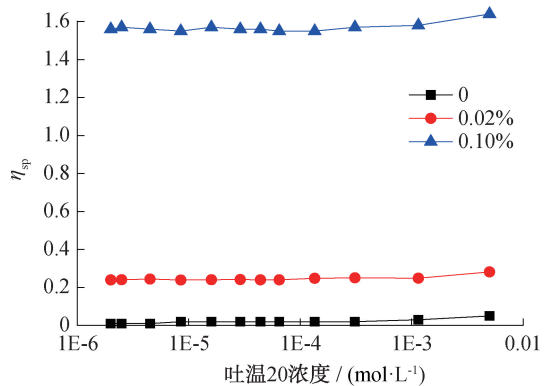


图 6 NaCl(0.10 mol/L) 对吐温 20-海藻酸钠-NaCl 复合溶液黏度的影响

Fig. 6 The effect of NaCl(0.10 mol/L) on η_{sp} of Tween 20-sodium alginate-NaCl complexes

电层,降低了海藻酸钠的团簇尺寸,因此复合溶液的 η_{sp} 大幅下降,但仍高于只有吐温 20 的体系,说明海藻酸钠的质量分数仍是复合溶液 η_{sp} 的决定因素。随着吐温 20 浓度的增大,复合溶液的 η_{sp} 在 cmc^* 之前基本不变,之后略微增大,这可能是因为吐温 20 分子结合在海藻酸钠分子链上形成珠串结构,在一定程度上增大了分子链的水动力学半径,从而增大了内摩擦。

3 结论

本文通过对表面张力、荧光光谱和黏度的测定,研究了吐温 20 与海藻酸钠在其混合体系中的相互作用,以及 NaCl 对该体系相互作用的影响,得到如下结论。

1) 吐温 20-海藻酸钠复合溶液的表面张力在 cmc^* 之前高于未添加海藻酸钠的溶液,且海藻酸钠

质量分数越大,表面张力升高越多。加入 NaCl 溶液后,在 cmc^* 之前,吐温 20-海藻酸钠-NaCl 复合溶液表面张力下降。

2) 当吐温 20-海藻酸钠复合溶液中添加了较低质量分数(0.02%)的海藻酸钠时,其 I_1/I_3 随吐温 20 浓度的变化与未添加海藻酸钠的吐温 20 溶液体系一样;当添加较高质量分数(0.10%)的海藻酸钠时,其 I_1/I_3 下降。加入 NaCl 溶液后,在 cpc 之前,吐温 20-海藻酸钠-NaCl 复合溶液的 I_1/I_3 升高。

3) 海藻酸钠质量分数是吐温 20-海藻酸钠复合溶液黏度的决定因素。吐温 20 浓度大于 cmc^* 时,可略微降低吐温 20-海藻酸钠复合溶液的黏度;加入电解质 NaCl 后,吐温 20 达到一定浓度后,可略微升高复合溶液的黏度。

该研究将为理解吐温 20 与海藻酸钠的相互作用,及其在微胶囊领域的应用提供重要的理论依据。

参考文献:

- [1] RUB M A, HOQUE M A, AZUM N, et al. Investigation of the aggregation, clouding and thermodynamics of the mixture of sodium alginate with sodium dodecyl sulfate and triton X-100 in aqueous and aqua-organic mixed solvents media[J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2022, 346: 117109.
- [2] 白艳红, 吴晓丽, 张相生, 等. 海藻酸钠可食性膜对酱卤鸡腿的保鲜效果[J]. *郑州轻工业学院学报(自然科学版)*, 2015, 30(1): 1-5.
- [3] 邓小丽, 胡明娟, 金志刚, 等. 海藻酸钠薰衣草精油微胶囊的制备及其性能研究[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(23): 47-53.
- [4] 苑再武, 苑敬, 吕鑫, 等. 多糖类大分子与表面活性剂相互作用的研究进展[J]. *物理化学学报*, 2013, 29(3): 449-459.
- [5] DAVARCI F, TURAN D, OZCELIK B, et al. The influence of solution viscosities and surface tension on calcium-alginate microbead formation using dripping technique [J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 62: 119-127.
- [6] MIRTIAK J, PAUDEL A, LAGGNER P, et al. Polyelectrolyte-surfactant-complex nanoparticles as a delivery platform for poorly soluble drugs: A case study of ibuprofen loaded cetylpyridinium-alginate system [J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2020, 580: 119199.
- [7] ALAMIN N U, KHAN A S, NASRULLAH A, et al. Activated carbon-alginate beads impregnated with surfactant as sustainable adsorbent for efficient removal of methylene blue [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 176: 233-243.
- [8] 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.
- [9] REHM B H. *Alginates: Biology and applications* [M]. Berlin: Springer, 2009.
- [10] 黄俊浩. 两亲性海藻酸钠衍生物和糖苷表面活性剂的相互作用的研究 [D]. 海口: 海南大学, 2015.
- [11] KAMP J, EMONDS S, SEIDENFADEN M, et al. Tuning the excess charge and inverting the salt rejection hierarchy of polyelectrolyte multilayer membranes [J]. *Journal of Membrane Science*, 2021, 639: 119636.
- [12] 王军, 李迎宾, 杨许召, 等. 咪唑基离子液体表面活性剂与牛血清蛋白混合体系相互作用研究 [J]. *轻工学报*, 2019, 34(3): 21-27.
- [13] SZYMCZYK K, TARABA A, SZANIAWSKA M. Interactions of Tween 20, 60 and 80 with dye molecules: Spectroscopic analysis [J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2019, 290: 111227.
- [14] MILANOVIC M, CIRIN D, KRSTONOŠIC V. The interactions in ternary system made of xanthan gum, Carbopol 940 and anionic/nonionic surfactant [J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2021, 344: 117696.
- [15] BAI Y, XU G, XIN X, et al. Interaction between cetyltrimethylammonium bromide and β -cyclodextrin: Surface tension and interfacial dilatational viscoelasticity studies [J]. *Colloid and Poly-*

mer Science, 2008, 286(13):1475–1484.

- [16] BODNÁR K, FEGYVER E, NAGY M, et al. Impact of polyelectrolyte chemistry on the thermodynamic stability of oppositely charged macromolecule/surfactant mixtures [J]. Langmuir, 2016, 32(5):1259–1268.
- [17] KANCHARLA S, JAHAN R, BEDROV D, et al.

Role of chain length and electrolyte on the micellization of anionic fluorinated surfactants in water [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2021, 628: 127313.

- [18] 吉林大学, 四川大学. 物理化学与胶体化学 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1983.

The effect of NaCl on the interaction between Tween 20 and sodium alginate

BAI Yan^{1,2,3}, SONG Shuang¹, ZHU Beiwei¹, SUN Hongyuan³, ZUO Wenjian^{2,3}, HU Mei³

1. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;

2. Hainan Provincial Academician Team Innovation Center, Sanya 572022, China;

3. College of Food Science and Engineering, Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572022, China

Abstract: As an anionic polyelectrolyte, the behavior of sodium alginate solution was easy to be affected by electrolyte. The interaction between non-ionic surfactant Tween 20 and sodium alginate and the effect of NaCl on the interaction were studied by surface tension, fluorescence spectrum and viscosity measurements. The results showed that the surface tension of Tween 20-sodium alginate complexes was higher than that without sodium alginate before *cmc*. The higher the mass fraction of sodium alginate, the higher the surface tension. The surface tension of Tween 20-sodium alginate-NaCl complexes decreased in the presence of NaCl. The I_1/I_3 of Tween 20-sodium alginate complexes decreased when the concentration of sodium alginate increased. Before *cpc*, I_1/I_3 of Tween 20-sodium alginate-NaCl complexes increased in the presence of NaCl. When the concentration of Tween 20 was higher than cmc^* , the viscosity of Tween 20-sodium alginate complexes decreased slightly. The viscosity of Tween 20-alginate complexes increased slightly in the presence of NaCl when Tween 20 reached a certain concentration.

Key words: Tween 20; sodium alginate; surface tension; fluorescence; viscosity

(责任编辑: 杨晓娟)