

丝氨酸在葡萄糖 - 水和蔗糖 - 水混合溶剂中的体积性质*

李淑芹¹桑文强²林瑞森²(1 中国科学院植物研究所光合作用研究中心, 北京 100093; ² 浙江大学化学系, 杭州 310027)

摘要 利用精密数字密度计测定了丝氨酸与不同组成的葡萄糖 - 水、蔗糖 - 水混合溶剂构成的三元系溶液的密度, 计算了丝氨酸的表观摩尔体积、极限偏摩尔体积和理论水化数. 根据结构水合作用模型讨论了迁移偏摩尔体积的变化规律, 并与乙二醇 - 水和丙三醇 - 水等多羟基体系作了比较. 结果表明, 丝氨酸分子在多羟基化合物 - 水体系中增体积效应的大小与多羟基化合物所含 OH 基数目的多少有关.

关键词: 丝氨酸, 葡萄糖 - 水混合溶剂, 蔗糖 - 水混合溶剂, 极限偏摩尔体积, 结构相互作用

中图分类号: O645, O642

糖和多元醇对蛋白质的稳定作用已被大量的实验所证实^[1-2]. 一般认为, 这种多羟基化合物诱导的稳定作用主要是通过蛋白质分子内疏水相互作用的增强而实现的. 尽管人们发现多羟基化合物的稳定能力与它们含有的羟基数目以及羟基的构型有关^[2], 但到目前为止, 人们对蛋白质稳定机理的认识仍然有分歧^[3].

由于生物大分子结构的复杂性, 对这类物质直接的热力学研究非常困难. 氨基酸是蛋白质分子的基本组成单元, 被认为是蛋白质的模型化合物. 对氨基酸等模型化合物进行热力学性质研究, 可以获得许多有价值的信息, 有助于揭示蛋白质的稳定机理^[4-6]. 溶液热力学性质研究主要在两方面, 一是溶质在无限稀释条件下的热力学性质. 由这一性质, 可以获得有关溶质 - 溶剂相互作用的信息, 即溶质的溶剂化问题. 属于此类的热力学性质有无限稀释下的偏摩尔体积、偏摩尔热容^[7-8]. 二是溶剂化的溶质间的相互作用^[9-11]. 与此相应的热力学性质有渗透系数、稀释焓等.

在先前的工作中, 我们测定了甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸分别与 DMF- 水、乙醇 - 水、葡萄糖 - 水及多元醇 - 水混合溶剂构成的三元溶液的稀释焓^[12-18]. 同时, 还研究了甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸分别与

DMF- 水、乙醇 - 水及多元醇 - 水混合溶剂构成的三元溶液的体积性质^[19-23]. 作为该工作的继续, 本文报导了丝氨酸与不同组成的葡萄糖 - 水、蔗糖 - 水混合溶剂构成的三元溶液的表观摩尔体积和极限偏摩尔体积, 并与乙二醇 - 水和丙三醇 - 水等多羟基体系进行了比较.

1 实验部分

1.1 试剂

丝氨酸, 生化试剂, 用乙醇 - 水混合溶剂重结晶, 在红外烘箱中干燥后置 P₂O₅ 真空干燥器中备用. 葡萄糖和蔗糖 (分析纯) 置于真空干燥器中经 P₂O₅ 干燥 72 h. 水为亚沸重蒸去离子水. 溶液配制采用称重法. 由于糖 - 水混合溶剂的粘度较大, 因此, 糖 - 水混合溶剂中葡萄糖和蔗糖的质量分数 w 为 0 ~ 0.30. 丝氨酸的质量摩尔浓度 m 为 0 ~ 0.5 mol · kg⁻¹. 所有溶液在使用前 12 h 配制以防止细菌污染.

1.2 仪器

溶液密度的测定使用 Anton Paar DMA55 型精密数字密度计, 测量精度为 $\pm 1 \times 10^{-5}$ g · cm⁻³. 循环水浴的温度利用 HAAKE 恒温系统稳定在 (298.15 ± 0.01) K. 测定之前 U 型振荡管用重蒸去

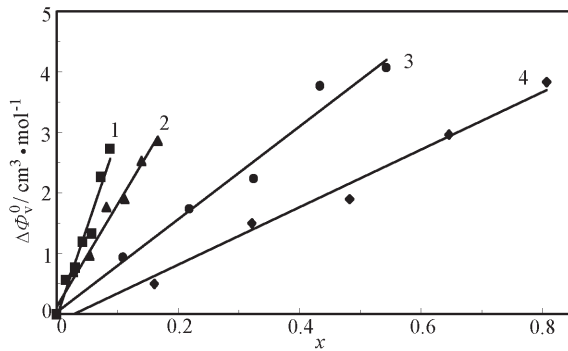


图1 丝氨酸在多羟基化合物-水混合溶剂中的迁移体积 $\Delta\Phi_V^0$ 随多羟基化合物摩尔分数的变化

Fig. 1 Variations in transfer volumes ($\Delta\Phi_V^0$) of serine with molar fractions of polyhydroxy compounds in polyhydroxy compounds-water mixed solvents

1) sucrose, 2) glucose, 3) glycerol, 4) ethylene glycol

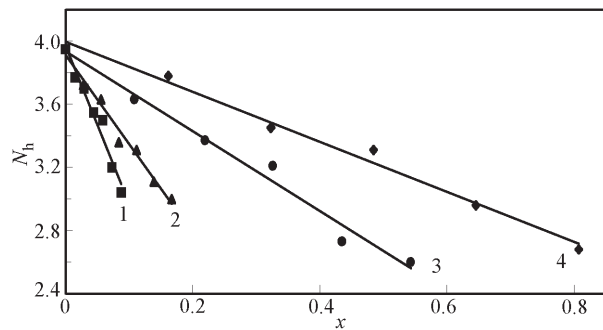


图2 丝氨酸在多羟基化合物-水混合溶剂中的水化数随多羟基化合物摩尔分数的变化

Fig. 2 Variations in hydration numbers of serine with molar fractions of the polyhydroxy compounds in polyhydroxy compounds-water mixed solvents

1) sucrose, 2) glucose, 3) glycerol, 4) ethylene glycol

离子水和分析纯丙酮反复清洗,并分别用重蒸去离子水($\rho = 0.997071 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)和干燥空气($\rho = 0.001185 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)校正仪器。

2 结果与讨论

丝氨酸-葡萄糖-水和丝氨酸-蔗糖-水三元溶液的密度测定结果见表1~2。丝氨酸的表现摩尔体积 Φ_V 根据下式计算

$$\Phi_V = M/\rho - 1000(\rho - \rho_0)/m_0\rho\rho_0 \quad (1)$$

式中, ρ_0 、 ρ 分别是298.15 K时溶剂和溶液的密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), m 是溶质的质量摩尔浓度($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$), M 为丝氨酸的摩尔质量($75.07 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

丝氨酸在葡萄糖-水、蔗糖-水混合溶剂中的极限偏摩尔体积 Φ_V^0 依据下式由最小二乘法得到

$$\Phi_V = \Phi_V^0 + s_v m \quad (2)$$

式中, s_v 为实验斜率($\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-2} \cdot \text{kg}$),反映溶质-溶质相互作用的强弱。计算结果列于表3和表4。

丝氨酸从水到不同质量分数的葡萄糖-水和蔗糖-水混合溶剂的迁移体积 $\Delta\Phi_V^0$ 由下式求出

$$\Delta\Phi_V^0 = \Phi_V^0(\text{sugar-water}) - \Phi_V^0(\text{water}) \quad (3)$$

结果见图1。其中,丝氨酸在乙二醇-水和丙三醇-水混合溶剂中的数据取自前文^[23]。为了讨论问题方便,图中将两种糖-水混合溶剂中糖的质量分数(w)表示为糖的摩尔分数(x)。

在无限稀释条件下,溶质-溶质相互作用已不存在,因此迁移偏摩尔体积主要反映了溶质-溶剂相

互作用的变化,其中包括静电相互作用和结构相互作用两个方面。糖-水及多元醇-水混合溶剂的介电常数比纯水低,但是差别不大^[24-25]。研究发现^[26],静电作用贡献对蛋白质的稳定作用是相当小的。当考虑迁移偏摩尔性质时,来自静电作用的贡献可忽略不计,静电作用对内禀体积的贡献也不存在。因此,迁移偏摩尔体积主要反映了结构相互作用^[27]。根据Desnoyers^[28]的结构水合作用模型,结构相互作用可分为几类:(1)亲水-亲水(Hi-Hi)相互作用,例如尿素-尿素、尿素-NaCl、 Na^+ - Cl^- 、OH-OH等,产生正的体积贡献。但相同电性离子间的作用,如 Na^+ - Na^+ 、 Cl^- - Cl^- 等,产生负的体积贡献,并且通常要比相反电性离子间作用小得多。(2)疏水-亲水(Hb-Hi)相互作用,例如特丁醇-尿素、特丁醇-NaCl、 CH_3 -OH等,产生小的负体积贡献。(3)疏水-疏水(Hb-Hb)相互作用,产生负的体积贡献。

由图1可见,丝氨酸从水到葡萄糖-水、蔗糖-水、乙二醇-水和丙三醇-水混合溶剂的迁移体积 $\Delta\Phi_V^0$ 均是正值,并随混合溶剂中共溶剂摩尔分数 x 的增大而增大,顺序依次为蔗糖>葡萄糖>丙三醇>乙二醇。根据上述结构水合作用模型,丝氨酸两性离子与上述糖或醇分子之间的结构相互作用应主要包括:1)糖或醇分子的OH基团与两性离子头基之间的亲水基-离子相互作用;2)糖或醇分子的OH基团与丝氨酸分子中OH基团通过氢键发生的亲水基-亲水基相互作用;3)糖或醇分子的OH

表 1 298.15 K 时丝氨酸 - 葡萄糖 - 水三元溶液的密度及其表现摩尔体积

| Table 1 Densities and apparent molar volumes of serine-glucose-water ternary solutions at 298.15 K | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| $m/\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ | $\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | $\Phi_V/\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ | $m/\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ | $\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | $\Phi_V/\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ |
| $w_G = 0.0000$ | | | $w_G = 0.2000$ | | |
| 0.0000 | 0.99707 | | 0.0000 | 1.07036 | |
| 0.1147 | 1.00216 | 60.45 | 0.1039 | 1.07460 | 62.33 |
| 0.1921 | 1.00553 | 60.60 | 0.1954 | 1.07826 | 62.42 |
| 0.2629 | 1.00857 | 60.71 | 0.2535 | 1.08055 | 62.50 |
| 0.3008 | 1.01018 | 60.76 | 0.3168 | 1.08302 | 62.56 |
| 0.4065 | 1.01461 | 60.92 | 0.4087 | 1.08653 | 62.70 |
| 0.4991 | 1.01839 | 61.13 | 0.4996 | 1.08992 | 62.86 |
| $w_G = 0.0500$ | | | $w_G = 0.2500$ | | |
| 0.0000 | 1.01459 | | 0.0000 | 1.09008 | |
| 0.1261 | 1.02005 | 61.12 | 0.1102 | 1.09444 | 62.86 |
| 0.2172 | 1.02392 | 61.24 | 0.1933 | 1.09767 | 62.92 |
| 0.2584 | 1.02565 | 61.30 | 0.2678 | 1.10052 | 62.99 |
| 0.3123 | 1.02788 | 61.40 | 0.3209 | 1.10253 | 63.03 |
| 0.3715 | 1.03031 | 61.50 | 0.3819 | 1.10482 | 63.07 |
| 0.4867 | 1.03499 | 61.60 | 0.4973 | 1.10909 | 63.14 |
| $w_G = 0.1000$ | | | $w_G = 0.3000$ | | |
| 0.0000 | 1.03264 | | 0.0000 | 1.11042 | |
| 0.1223 | 1.03788 | 61.36 | 0.1046 | 1.11444 | 63.24 |
| 0.1894 | 1.04070 | 61.43 | 0.1832 | 1.11740 | 63.34 |
| 0.2688 | 1.04398 | 61.56 | 0.2583 | 1.12018 | 63.44 |
| 0.3166 | 1.04594 | 61.61 | 0.3218 | 1.12249 | 63.53 |
| 0.4083 | 1.04964 | 61.73 | 0.3573 | 1.12377 | 63.57 |
| 0.4862 | 1.05276 | 61.78 | 0.5036 | 1.12895 | 63.74 |
| $w_G = 0.1500$ | | | | | |
| 0.0000 | 1.05131 | | | | |
| 0.1110 | 1.05592 | 62.10 | | | |
| 0.1780 | 1.05866 | 62.17 | | | |
| 0.2526 | 1.06167 | 62.24 | | | |
| 0.3203 | 1.06437 | 62.29 | | | |
| 0.3979 | 1.06743 | 62.35 | | | |
| 0.4991 | 1.07135 | 62.44 | | | |

w_G : mass fraction of glucose in glucose-water mixed solvents

基团与两性离子骨架烷基之间的亲水基 - 疏水基相互作用; 4) 糖或醇分子骨架烷基与两性离子骨架烷基之间的疏水基 - 疏水基相互作用。

在第 1) 种作用中, 由于 $-\text{NH}_3^+$ 和 $-\text{COO}^-$ 基团的水合共球与糖或醇 OH 基的水合共球产生交盖, 导致这些荷电中心对水分子的电致收缩作用减小, 使围绕在荷电中心周围的一些水分子回复到正常的结构状态, 从而产生正的体积贡献。在第 2) 种作用中, 由于两个 OH 基团的水合共球交叉相互作用, 导致氢键相互作用幅度的进一步增加, 其结果也将产生正的体积贡献。第 3) 种作用和第 4) 种作用, 均产生负的体积贡献。这是因为疏水共球 - 亲水共球以及疏水共球与疏水共球的交叉相互作用, 都导致这些基团周围水结构的减少。同时, 在含水介质中,

由于相互作用溶质分子水合壳层的交盖和穿透, 两性离子中心和糖或醇羟基的水合壳层都会发生部分去水合作用。后者又因糖或醇分子骨架烷基的疏水性, 导致围绕这些非极性基团周围的水分子间的氢键作用增强, 而氢键的协同性则进一步使糖或醇羟基水化层中水分子与糖或醇羟基之间的相互作用得到增强^[6]。丝氨酸的迁移偏摩尔体积均为正值, 并且随着糖或醇含量的增大而增大, 说明在糖 - 水或醇 - 水混合溶剂中的亲水 - 离子相互作用及 OH 基团之间通过氢键发生的亲水基 - 亲水基相互作用大于亲水 - 疏水及疏水 - 疏水相互作用, 且占主导地位。显然, 糖或醇分子的这种增体积效应的大小与其所含 OH 基数目的多少有关。羟基越多, 氨基酸两性离子与糖或醇分子中 OH 间的相互作用

表 2 298.15 K 时丝氨酸-蔗糖-水三元溶液的密度及其表观摩尔体积

Table 2 Densities and apparent molar volumes of serine-sucrose-water ternary solutions at 298.15 K

| $m/\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ | $\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | $\Phi_V/\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ | $m/\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ | $\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | $\Phi_V/\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| $w_s = 0.0000$ | | | $w_s = 0.2000$ | | |
| 0.0000 | 0.99707 | | 0.0000 | 1.07705 | |
| 0.1147 | 1.00216 | 60.45 | 0.1026 | 1.09673 | 61.80 |
| 0.1921 | 1.00553 | 60.60 | 0.2064 | 1.09314 | 61.96 |
| 0.2629 | 1.00857 | 60.71 | 0.2459 | 1.08807 | 62.01 |
| 0.3008 | 1.01018 | 60.76 | 0.2723 | 1.08703 | 62.05 |
| 0.4065 | 1.01461 | 60.92 | 0.4041 | 1.08546 | 62.30 |
| 0.4991 | 1.01839 | 61.13 | 0.4999 | 1.08128 | 62.49 |
| $w_s = 0.0500$ | | | $w_s = 0.2498$ | | |
| 0.0000 | 1.01657 | | 0.0000 | 1.10170 | |
| 0.1182 | 1.02171 | 60.98 | 0.1004 | 1.10567 | 62.59 |
| 0.1968 | 1.02507 | 61.07 | 0.1852 | 1.10897 | 62.63 |
| 0.2447 | 1.02710 | 61.11 | 0.2677 | 1.11212 | 62.71 |
| 0.3086 | 1.02977 | 61.19 | 0.3030 | 1.11346 | 62.74 |
| 0.4111 | 1.03397 | 61.37 | 0.4275 | 1.11810 | 62.82 |
| 0.4999 | 1.03757 | 61.46 | 0.5092 | 1.12111 | 62.88 |
| $w_s = 0.1000$ | | | $w_s = 0.3000$ | | |
| 0.0000 | 1.03670 | | 0.0000 | 1.12469 | |
| 0.1068 | 1.04128 | 61.19 | 0.0970 | 1.12839 | 63.06 |
| 0.2192 | 1.04600 | 61.35 | 0.1935 | 1.13201 | 63.13 |
| 0.2597 | 1.04766 | 61.46 | 0.2585 | 1.13440 | 63.19 |
| 0.2955 | 1.04912 | 61.52 | 0.3337 | 1.13714 | 63.24 |
| 0.4052 | 1.05354 | 61.70 | 0.4233 | 1.14034 | 63.33 |
| 0.5006 | 1.05731 | 61.83 | 0.4950 | 1.14288 | 63.36 |
| $w_s = 0.1500$ | | | | | |
| 0.0000 | 1.05766 | | | | |
| 0.0957 | 1.06168 | 61.62 | | | |
| 0.2019 | 1.06606 | 61.70 | | | |
| 0.2461 | 1.06783 | 61.85 | | | |
| 0.3187 | 1.07073 | 61.94 | | | |
| 0.4170 | 1.07459 | 62.08 | | | |
| 0.5004 | 1.07781 | 62.19 | | | |

w_s : mass fraction of sucrose in sucrose-water mixed solvents

越强,氨基酸带电中心对周围水分子的电致收缩效应越弱,从而产生较大的增体积效应。

糖或醇等多羟基化合物体系对丝氨酸水合两性离子的增体积效应也可以从其水化数 N_h 的变化趋势看出。根据 Franks 等人^[29]的观点,氨基酸的极限偏摩尔体积 Φ_V^0 可以用一个简单模型表示

$$\Phi_V^0 = V_i^0 + V_{\text{elect}}^0 \quad (4)$$

$$V_i^0 = V_w^0 + V_p^0 \quad (5)$$

其中, V_i^0 是氨基酸的内禀体积, V_{elect}^0 是氨基酸水化所引起的电致收缩体积, V_w^0 是 van der Waals 体积, V_p^0 是由填充效应所引起的体积变化。

氨基酸的内禀体积可以从其晶体的摩尔体积出发,通过对填充密度作校正而得到^[30]

$$V_i^0 = (0.7/0.634)V_c^0 \quad (6)$$

式中, 0.7 是晶体中分子的填充密度, 0.634 是无规堆积球的填充密度, V_c^0 是氨基酸晶体的摩尔体积(由 Berlin 等人^[31]的数据计算而得)。

由电致收缩所引起的体积减少 V_{elect}^0 与氨基酸在溶液中的水化数 N_h 有关^[30]

$$V_{\text{elect}}^0 = N_h(V_c^0 - V_b^0) \quad (7)$$

式中, V_c^0 是在电致收缩影响下水的摩尔体积, V_b^0 为正常状态水的摩尔体积。按照文献[27]描述的计算方法, 298.15 K 时, $V_c^0 - V_b^0 = -3.3 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

丝氨酸在上述多羟基体系中的水化数的变化趋势如图 2 所示。水化数均随溶液中糖或醇含量的增加而减小, 水化数减小的幅度为蔗糖 > 葡萄糖 >

表 3 298.15 K 时丝氨酸在葡萄糖-水混合溶剂中的极限偏摩尔体积和方程 (2) 实验斜率 s_v Table 3 Limiting partial molar volumes (Φ^0) and experimental parameters (s_v) of Eq. (2) of serine in glucose-water mixed solvents at 298.15 K

| w_G | x | $\Phi^0/\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ | s_v | r |
|--------|--------|--|-------------|-------|
| 0.0000 | 0.0000 | 60.26 ± 0.02 | 1.70 ± 0.06 | 0.997 |
| 0.0500 | 0.0277 | 60.95 ± 0.03 | 1.40 ± 0.08 | 0.993 |
| 0.1000 | 0.0555 | 61.23 ± 0.02 | 1.18 ± 0.06 | 0.994 |
| 0.1500 | 0.0832 | 62.01 ± 0.01 | 0.86 ± 0.03 | 0.997 |
| 0.2000 | 0.1110 | 62.17 ± 0.02 | 1.33 ± 0.07 | 0.994 |
| 0.2500 | 0.1387 | 62.79 ± 0.01 | 0.73 ± 0.04 | 0.994 |
| 0.3000 | 0.1665 | 63.11 ± 0.01 | 1.26 ± 0.04 | 0.998 |

The values in column 2 are the molar fractions corresponding to the mass fraction w_G of glucose in glucose-water mixed solvents.

表 4 298.15 K 时丝氨酸在蔗糖-水混合溶剂中的极限偏摩尔体积和方程 (2) 实验斜率 s_v Table 4 Limiting partial molar volumes (Φ^0) and experimental parameters (s_v) of Eq. (2) of serine in sucrose-water mixed solvents at 298.15 K

| w_s | x | $\Phi^0/\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ | s_v | r |
|--------|--------|--|-------------|-------|
| 0.0000 | 0.0000 | 60.26 ± 0.02 | 1.70 ± 0.06 | 0.997 |
| 0.0500 | 0.0146 | 60.81 ± 0.02 | 1.30 ± 0.06 | 0.995 |
| 0.1000 | 0.0292 | 61.01 ± 0.02 | 1.67 ± 0.06 | 0.997 |
| 0.1500 | 0.0438 | 61.47 ± 0.03 | 1.45 ± 0.09 | 0.991 |
| 0.2000 | 0.0584 | 61.59 ± 0.02 | 1.76 ± 0.06 | 0.997 |
| 0.2498 | 0.0730 | 62.51 ± 0.01 | 0.73 ± 0.03 | 0.997 |
| 0.3000 | 0.0876 | 62.98 ± 0.01 | 0.79 ± 0.03 | 0.996 |

The values in column 2 are the molar fractions corresponding to the mass fraction w_s of sucrose in sucrose-water mixed solvents.

丙三醇 > 乙二醇。

水化数反映了氨基酸带电中心对周围水分子的电致收缩效应。随着糖或醇含量的增加,氨基酸两性离子与糖或醇分子中 OH 间的相互作用增强,并占主导地位,相应地削弱了氨基酸带电中心对周围水分子的电致收缩效应,导致了氨基酸的水化数随着糖或醇含量的增加而逐渐减少。水化数的减少与糖或醇分子中含有羟基的数目有关。羟基越多,氨基酸两性离子与糖或醇分子中 OH 间的相互作用越强,氨基酸带电中心对周围水分子的电致收缩效应越弱,水化数越少。这与前面的结论是一致的。

3 结论

从实验和上面的讨论可以看出,糖和多元醇等多羟基化合物对蛋白质的稳定作用主要取决于糖或醇羟基与氨基酸两性离子的亲水-亲水及侧链之间的疏水-疏水相互作用。这种亲水和疏水相互作用导致的氨基酸的增体积效应除了与氨基酸本身的性质有关外,还与多羟基体系含有的羟基数目多

少有关。羟基数目越多,增体积效应越大。

References

- 1 Back J F, Oakenfull D, Smith M. *B. Biochemistry*, **1979**, **18**: 5191
- 2 Uedaira H, Uedaira H. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **1980**, **53**: 2451
- 3 Hvidt A, Westh P. *J. Solution Chem.*, **1998**, **27**: 395
- 4 Gekko K. *J. Biochem.*, **1981**, **90**: 1633
- 5 Gekko K. *J. Biochem.*, **1981**, **90**: 1643
- 6 Palecz B, Piekarski H. *J. Solution Chem.*, **1997**, **26**: 621
- 7 Frank H S, Evans M W. *J. Chem. Phys.*, **1945**, **13**: 507
- 8 Desnoyero J E, Arel M, Jolicorur G. *J. Phys. Chem.*, **1969**, **73**: 3346
- 9 Visser C de, Perron G, Desnoyers J E. *J. Am. Chem. Soc.*, **1977**, **99**: 5894
- 10 Chatterjea J P, Basumallick I N. *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1*, **1988**, **84**: 2697
- 11 Bhat R, Kishore N, Ahluwalia J C. *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1*, **1988**, **88**: 2665
- 12 Li S Q, Hu X G, Lin R S, Zong H X. *Thermochim. Acta*, **1999**, **342**: 1
- 13 Ren XL, Lin RS, Hu XG, Ni YM. *Acta Chim. Sin.*, **1999**,

- 57: 875 [任小玲, 林瑞森, 胡新根, 倪亚明. 化学学报 (*Huaxue Xuebao*), **1999**, **57**: 875]
- 14 Ren XM, Ni YM, Lin RS. *Acta Phys.-Chim. Sin.*, **2000**, **16** (2): 166 [任小玲, 倪亚明, 林瑞森. 物理化学学报 (*Wuli Huaxue Xuebao*), **2000**, **16**(2): 166]
- 15 Ren X L, Ni Y M, Lin R S. *Thermochim. Acta*, **2000**, **348**: 19
- 16 Lin R S, Hu X G, Ren X L. *Thermochim. Acta*, **2000**, **352**: 31
- 17 Wei X M, Hu X G, Shao S, Lin R S, Li S Q. *Thermochim. Acta*, **2000**, **362**: 1
- 18 Liu Q W, Hu X G, Lin R S, Li S Q, Sang W Q. *Thermochim. Acta*, **2001**, **369**: 31
- 19 Ren X L, Hu X L, Lin R S, Zong H X. *J. Chem. Eng. Data*, **1998**, **43**: 700
- 20 Ren X L, Lin R S, Ni Y M, Zong H X. *Can. J. Chem.*, **1999**, **77**: 387
- 21 Li S Q, Hu X G, Lin R S, Shang W Q. *J. Chem. Eng. Data*, **2001**, **46**: 782
- 22 Li S Q, Hu X G, Lin R S, Shang W Q, Fang W J. *J. Solution Chem.*, **2001**, **30**: 365
- 23 Li SQ, Hu XG, Lin RS, Fang WJ, Sang WQ, Liu QW. *Acta Phys.-Chim. Sin.*, **2001**, **17**(5): 400 [李淑芹, 胡新根, 林瑞森, 方文军, 桑文强, 刘庆旺. 物理化学学报 (*Wuli Huaxue Xuebao*), **2001**, **17**(5): 400]
- 24 Franks F, Reid D S, Suggett A. *J. Solution Chem.*, **1973**, **2**: 99
- 25 Dipaola G, Bellea B. *Can. J. Chem.*, **1977**, **55**: 3835
- 26 Back J F, Dakenfull D, Smith M B. *Biochemistry*, **1979**, **18**: 5191
- 27 Dipaola G, Bellea B. *Can. J. Chem.*, **1975**, **53**: 3452
- 28 Desnoyers J E, Arel M, Jolicorur G. *J. Phys. Chem.*, **1969**, **73**: 3346
- 29 Franks F, Quickenden M A, Reid D S, Watson B. *Trans. Faraday Soc., Trans 1*, **1970**, **66**: 582
- 30 Millero F J, Losurdo A, Shin C. *J. Phys. Chem.*, **1978**, **82**: 784
- 31 Berlin E, Pallansch M J. *J. Phys. Chem.*, **1968**, **72**: 1887

Volumetric Properties of Serine in Glucose-water and Sucrose-water Mixed Solvents at 298.15 K*

Li Shu-Qin¹ Sang Wen-Qiang² Lin Rui-Sen²

(¹Photosynthesis Center, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093;

²Department of Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract Densities of serine in glucose-water and sucrose-water mixed solvents have been measured at 298.15 K by an oscillating-tube densimeter. Apparent molar volumes, limiting partial molar volumes and number of hydration of serine have been calculated. The transfer volumes from water to sugar-water mixtures have been obtained and discussed in terms of the structural hydration interaction model. The results obtained have been compared with that in glycerol-water and ethylene glycol-water mixtures. It is concluded that the magnitude of enhancement effect on volume is related to the number of OH groups.

Keywords: Serine, Glucose-water mixed solvents, Sucrose-water mixed solvents, Limiting partial molar volumes, Structural interaction