

聚合物与草酸钙相互作用的研究进展
及其对预防尿路结石的意义

邓兰青, 欧阳健明*

(暨南大学生物矿化与结石病防治研究所, 广州 510630)

摘要: 聚合物对泌尿系结石的形成具有抑制和促进双重作用。本文综述了聚合物对尿石矿物草酸钙成核、生长、聚集及其与尿路细胞膜黏附影响的研究进展, 讨论了聚合物影响草酸钙晶面和形貌的机理, 指出了该领域所面临的问题和将来的发展方向。

关键词: 聚合物; 草酸钙; 尿结石

泌尿系结石(简称尿石)是生物体内病理矿化的产物, 其形成机理至今仍未完全阐明, 目前亦无十分理想的预防方法。尿石的主要成分是草酸钙(CaOxa)^[1]。

尿石的形成与聚合物密切相关, 归因于尿液中含有众多的聚合物, 如聚多糖、蛋白质、聚胺等。取决于聚合物本身结构的不同和实验条件的差异, 聚合物对尿石的形成具有抑制和促进双重影响。深入研究聚合物与草酸钙的相互作用, 有助于进一步了解草酸钙结石的形成机理, 防止其形成和复发。

1 聚合物对草酸钙成核具有抑制和促进双重作用

尿液中发生的成核多为异相成核, 即在外来颗粒或尿路细胞膜表面诱导下的成核。加入聚合物之后, 由于聚合物与介稳的 CaOxa 溶质团粒发生相互作用, 一方面, 聚合物会阻碍 CaOxa 团粒的扩散, 从而增大溶液的过饱和度, 起到抑制 CaOxa 晶体成核的作用; 另一方面, CaOxa 晶体可吸附在聚合物表面, 使其形成稳定的晶核, 从而减小界面能, 增加成核速率, 即促进 CaOxa 晶体成核。

Georgiev 等^[2]研究了水溶性聚合物: 聚乙烯基吡咯烷酮(PVP)、丙烯酸-乙烯基吡咯烷酮共聚物(CP)、聚丙烯酸(PAA)、聚(*N*, *N*'-二甲基氨基乙基异丁烯酸酯(PDMAEM)和聚乙烯亚胺(PEI)对草酸钙成核的抑制作用, 表 1 列出了在不同温度下, 这些聚合物对 CaOxa 结晶过程中诱导期(τ)和抑制系数(γ)[其中 $\gamma = (\tau_1 - \tau_0) / \tau_0$, τ_1 和 τ_0 分别为有和没有聚合物抑制剂时的诱导期]的影响。可以看出, PEI 对 CaOxa 成核的抑制特别明显, 它比 CP-46(CP 中丙烯酸单体的摩尔分数为 0.46, CP-46 曾经被认为是聚合物抑制剂中最强的一种)的抑制作用还要强 2 个数量级。即使在 50℃ 时, PEI 的抑制作用仍很明显, 而此时 PVP 和 PDMAEM 没有抑制作用。PEI 这种极强的抑制效果并不是由于其侧链上具有带正电荷的氨基所致, 因为同样是聚阳离子的 PDMAEM 抑制作用很弱, 而是由于 PEI 的支链含有多种伯、仲、叔氨基, 具有较强的螯合活性。PDMAEM 分子侧链上含有相对较大的碳氢片段, 螯合活性小, 因而其抑制活性减弱。

表 1 不同温度下水溶性聚合物对 CaOxa 结晶过程中诱导期(τ)和抑制系数(γ)的影响^[2]
Table 1 Effect of the temperature and the types of the water soluble polymers on the induction period(τ) and inhibitory efficiency(γ)· (polymer concentration: 0.1%; supersaturation of CaOxa: 1.3)

聚合物	25℃	37℃	50℃
	τ/min (γ)	τ/min (γ)	τ/min (γ)
空白	25.0	11.0	4.0
PVP	63.5 (1.54)	29.5 (1.68)	4.0 (0.00)
CP-46	74.0 (1.96)	55.5 (4.04)	38.4 (8.00)
PDMAEM	25.7 (0.03)	11.4 (0.04)	4.1 (0.02)
PEI	1850 (73.0)	3450 (312.6)	980 (244.0)

基金项目: 基金项目: 国家自然科学基金(20471024);

作者简介: 邓兰青(1982—), 女, 湖南岳阳人, 研究生, 研究方向为生物矿化;

通讯联系人: Tel & Fax: 020-85223353. E-mail: toyin@jnu.edu.cn

Egan 等^[3]研究了水溶液和尿液中 CaOxa 晶体在印迹聚合物分子:6(2-甲基丙烯酰胺)己酸/对二乙烯苯(MADB)共聚物表面的成核。图 1 为印迹聚合物的合成及 CaOxa 晶体成核机理示意图。首先,模板分子 CaOxa 与共聚物单体之一的 6(2-甲基丙烯酰胺)己酸自组装,然后与另一单体对二乙烯苯共聚,再用酸解的方法将共聚物洗脱下来,最后用这种印迹共聚物来诱导 CaOxa 晶体的成核。结果表明:1) 非印迹聚合物不能诱导一水草酸钙(COM)和二水草酸钙(COD)晶体的成核(图 2b, 2f);2) 在水溶液中,被 COM 印迹过的共聚物表面空穴(图 2c)只诱导 COM 成核(图 2e),表明印迹共聚物表面位点能与 COM 晶体形成较好的晶格匹配;3) 在水溶液中,COD 印迹过的共聚物表面能同时诱导 COM 和 COD 成核,归因于 COD 成核后,部分 COD 转化为热力学上稳定的 COM;4) 在合成尿和原尿中,COM 印迹过的共聚物表面同样只诱导 COM 成核。印迹共聚物 MADB 影响 COM 和 COD 晶体的成核归因于这种共聚物刚性和柔性的平衡,

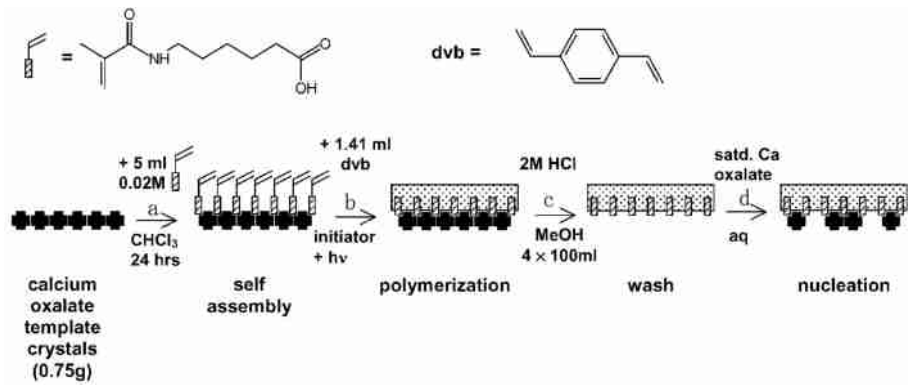


图 1 聚合物印迹的过程及 COM 和 COD 成核示意图
(a) 模板分子 CaOxa 与 6(2-甲基丙烯酰胺)己酸单体自组装;(b) 与对二乙烯苯单体共聚;
(c) 酸解洗脱共聚物;(d) 印迹共聚物诱导 CaOxa 晶体成核^[3]

Figure 1 Schematic representation of the procedure used in this work for imprinting the polymer and investigating the nucleation of COM and COD.

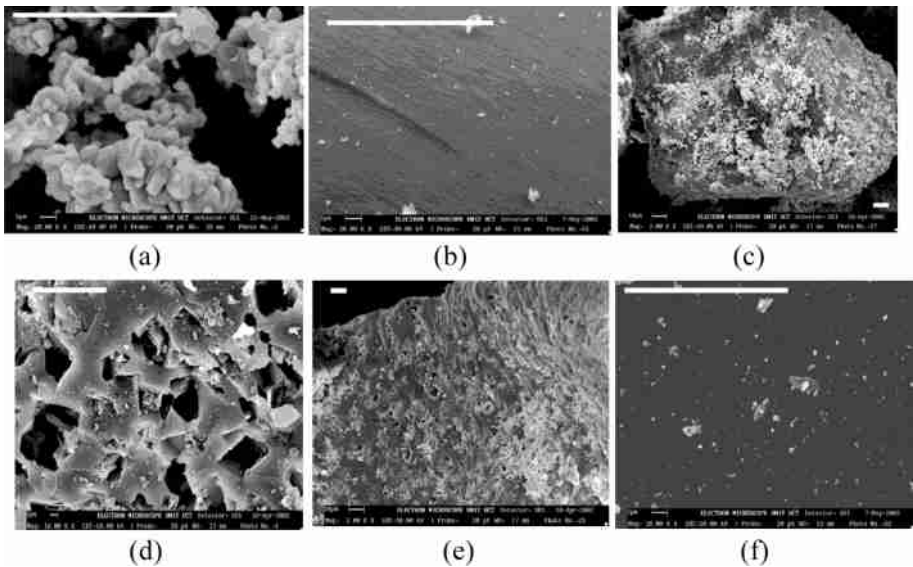


图 2 SEM 图

(a) COM 模板晶体;(b) 非印迹聚合物;(c) 未经洗脱的 COM-印迹聚合物;(d) 洗脱后的 COM-印迹聚合物;(e) 浸在 4 mM CaOxa 中的 COM-印迹聚合物表面及沉淀的 COM 晶体;(f) 浸在 4 mM CaOxa 中的非印迹聚合物表面,无晶体生成。标尺:10 μm^[3]

Figure 2 SEM micrographs of (a) COM template crystals; (b) unimprinted polymer; (c) a particle of unwashed COM-imprinted polymer; (d) a particle of washed COM-imprinted polymer showing casts left in the polymer by the COM crystals; (e) a washed COM-imprinted particle that had been soaked in 4 mM CaOxa showing COM crystals on surface of the particles and casts filled with precipitated material; (f) The typical surface of unimprinted polymer after soaking in 4 mM CaOxa solution; no crystallization is evident on the surface.

其一定的刚性保证了印迹空穴的空间构型和官能团的定位,而一定的柔性减小了聚合物在识别位点键合客体分子的熵值,促进达到动力学平衡。由于尿道壁本身就是可诱导尿石形成的表面,尿液中的细胞碎片和脱落的上皮细胞膜等亦可作为尿石成核的位点,因此,印迹聚合物为肾结石病的研究提供了一个较好的模拟体系。

2 聚合物对草酸钙生长具有抑制和促进双重作用

聚合物对 CaOxa 晶体生长的影响程度与聚合物的结构,特别是其尾链上的官能团有很大关系。马来酸共聚物是 COM 晶体生长的强抑制剂^[4],但与马来酸共聚的单体种类仍然会影响共聚物的抑制强度,不同共聚物对 COM 晶体生长的抑制强度依次为:乙酸/马来酸共聚物>N-乙烯吡咯烷酮/马来酸共聚物>苯乙烯/马来酸共聚物。共聚物的分子量也同样影响 COM 晶体的生长,其抑制作用随着共聚物分子量的增大而增强,且线性共聚物的抑制活性更为显著。

多聚磷酸根阴离子不但可与 Ca^{2+} 离子形成可溶性稳定配合物,而且可以选择性地吸附在带正电荷的 COM 晶体表面,从而减慢 COM 的生长速度,同时促进表面电荷密度较低的二水草酸钙(COD)和三水草酸钙(COT)生长^[5]。由于诱导 COD 和 COT 的生长可减小尿石形成的几率^[1],因此,上述研究结果可为临床上开发新型防石药物提供启示。

PEI 不但可以抑制 CaOxa 的成核,而且还可以抑制 CaOxa 晶体的生长和聚集^[2]。图 3 为 PEI 浓度对 CaOxa 生长动力学的影响,其纵坐标结晶度 $\alpha = (c_0 - c_t) / (c_0 - c_\infty)$,其中 c_0 、 c_t 和 c_∞ 分别为 CaOxa 在时间 0、 t 和 ∞ 时的浓度。从图 3 可以看出,不但 PEI 的浓度越大, CaOxa 的生长速率越慢,而且温度也是重要的影响参数。表 2 列出了在不同温度下加入或不加入 0.1%(W/V)PEI 时 CaOxa 微晶的平均尺寸,可见,加入 PEI 可使 CaOxa 的平均尺寸减小 2~3 倍,这表明 PEI 是一种对 CaOxa 结晶十分有效的抑制剂和分散剂。

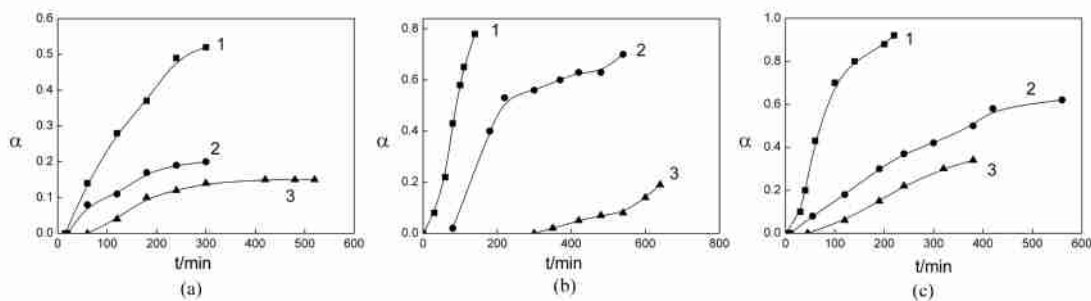


图 3 不同温度下聚合物 PEI 浓度对 CaOxa 生长动力学的影响。
(a) 25℃, (b) 37℃, (c) 50℃。

曲线 1: 没有聚合物; 曲线 2: 加入 0.03%PEI; 曲线 3: 加入 0.10%PEI^[2]

Figure 3 Effect of temperature on CaOxa crystallization kinetics
(a) 25℃, (b) 37℃, (c) 50℃。

Curve 1: no polymer; curve 2: $C_{\text{PEI}} = 0.03\%$; curve 3: $C_{\text{PEI}} = 0.10\%$ 。

Guo 等^[6]研究了聚天冬氨酸(polyD)和聚谷氨酸(polyE)(图 4)对 COM 晶体生长的影响。polyE、polyD 及其钠盐对 COM 生长的抑制作用均显著强于其单体,且对 COM 晶体<001>方向的生长抑制作用更大,其原因可能是 COM 晶体的{021}和{001}晶面能更好地吸附 polyD。而 polyE 对 COM 生长的影响相对较弱,但其对 COM 晶体<010>方向生长的抑制作用比 polyD 强,即 polyE 对 COM 晶体的{010}面择优吸附。

Burdon 等^[7]实验表明,2-羟基乙基丙烯酸(HEA)、3-羟基丙基丙烯酸(HPA)和 4-羟基丁基丙烯酸(HBA)的均聚物都能促进草酸钙晶体的生长和成核。这些聚合物能增大 CaOxa 结晶过程的界面能,延长诱导期,降低成核速率,从而增大晶体尺寸。故 CaOxa 晶体的尺寸和数量均随时间而增加。

在水溶液中能很好膨胀但不完全溶解的羟基聚合物最能促进 CaOxa 结晶,这归因于:一方面这类聚合物薄膜表面的羟基能与 Ca^{2+} 配位,吸引膜附近的 Ca^{2+} 聚集;另一方面,原先疏水的薄膜表面变成亲水的表面,使晶体培养液中的添加剂(如聚丙烯酸)易于在薄膜表面聚集,而聚集在表面的添加剂能降低 CaOxa 在聚合物基质上结晶的表面能,从而促进晶体生长。

表 2 不同温度下 PEI 对 CaOxa 微晶平均尺寸的影响^[2]
Table 2 Effect of PEI on the average crystallite size

T/℃	不加 PEI	加入 0.1% (w/v) PEI
25	5.39	2.57
37	8.94	3.24
50	5.47	2.46

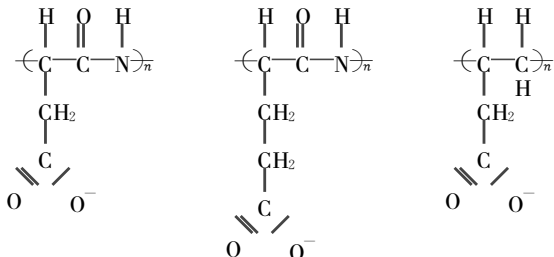


图 4 阴离子大分子聚天冬氨酸(polyD)、聚谷氨酸 (polyE)和聚丙烯酸(polyAA)的分子结构式
Figure 4 Molecular structure of anionic macromolecules poly(aspartic acid)(polyD), poly(glutamic acid) (polyE) and poly(acrylic acid)(PolyAA)

3 聚合物对草酸钙聚集具有抑制和促进双重作用

聚集是固体颗粒长大的另一种形式。尿石晶体颗粒的聚集有两种方式:一种是晶体自身的聚集;另一种是在基质黏附作用下的聚集^[8]。

侧链上含有阴离子的聚合物能抑制 CaOxa 晶体的聚集。向尿液中加入富阴离子聚合物,可使 CaOxa 晶体表面由原先带正电荷转变为带负电荷,此时,静电排斥力大于范德华力,从而有效地抑制 CaOxa 晶体聚集。一般而言,能使 CaOxa 晶体表面电势降至-40 mV 的富阴离子聚合物,均可抑制 CaOxa 晶体的聚集^[9]。

聚合物也可促进 CaOxa 晶体的聚集和黏附。肾结石中含有大量的富羧酸聚合物,这些聚合物作为黏附剂可以促进 COM 晶体聚集^[10],如 polyD 和 polyE。

4 影响草酸钙晶体的晶面

COM 晶体的主要晶面有{100}[相当于 $\{\bar{1}01\}$ 面^[11]] $\{\bar{1}00\}$ 、{001}、{021}和 $\{12\bar{1}\}$ (见图 5)。在纯溶液和凝胶体系中生成的 COM 晶体的形貌如图 5a 所示。在黏蛋白、囊泡膜、阴离子脂质等聚合物存在下,这些聚合化合物不但可牢牢地束缚在 COM 的带正电荷{100}晶面层,降低 COM 这个晶面的生长,从而稳定这个晶面,而且聚阴离子和 COM 之间存在螯合作用,因而是生成{100}面呈圆形的平面状晶体(见图 5b)^[12]。

Jung 等^[13]研究了聚阴离子和聚阳离子对 COM 晶体晶面的影响。带阳离子的聚合物(如聚赖氨酸、聚组氨酸、聚精氨酸等)对晶体的(100)面或(010)面的生长的没有任何作用;而聚阴离子,特别是支链上含有阴离子的聚合物如聚丙烯酸(polyAA,见图 4)、polyD 和 polyE 等均能抑制 COM 这两个晶面的生长,且其抑制作用的强弱与聚合物的结构、浓度及晶面体上位点的密度密切相关。polyAA 抑制 CaOxa 晶体生长强于 polyD 和 polyE,且对 COM 的{100}晶面阶梯上的{021}面抑制最强。PolyE 由于择优束缚 COM 的{010}面(图 6A, 6C),因此对 COM {010}面的抑制作用强于{001}面,结果抑制 COM 沿 b-轴方向的生长。PolyD 择优束缚在 COM 的 $\{\bar{1}2\bar{1}\}$ 面和 $\{12\bar{1}\}$ 面(图 6B, 6D),抑制 COM 沿 c-轴的生长,且在 polyD 存在下,COM 明显地向 COD 转变。上述结果表明,聚阴离子对 CaOxa 晶体晶面影响的强弱与下列因素相关:(1) 聚合物的侧链结构;(2) 晶体表面的结构和组成。

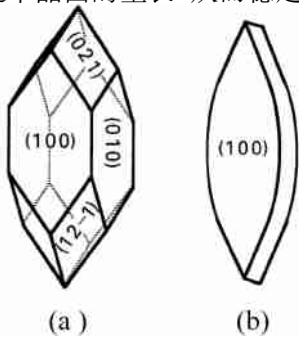


图 5 典型的 COM 晶体形貌 (a)和在聚合物诱导下生成的圆边 COM 晶体(b)^[12]

Figure 1 Typical COM morphology (a) and COM crystal rounded edges(b)

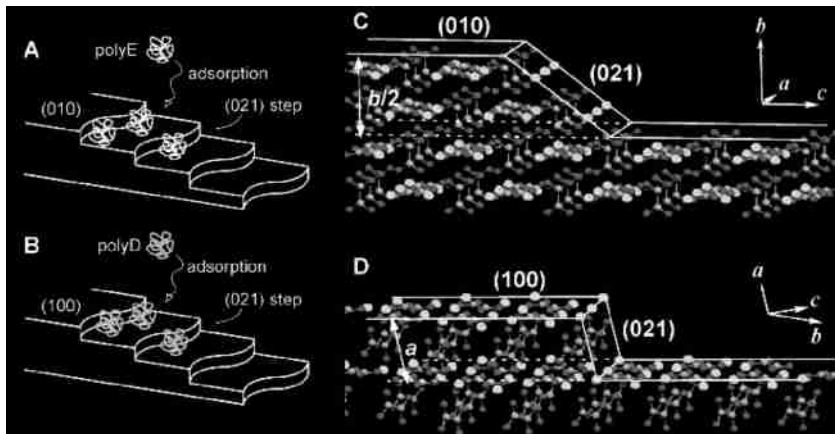


图 6 聚天冬氨酸(polyD)和聚谷氨酸(polyE)分别束缚到(010)和(100)晶面上的台阶位点示意图. PolyE 择优束缚 COM 的 $\{010\}$ 面(A, C), 抑制 COM 沿 b -轴方向的生长; PolyD 择优束缚在 COM 的 $\{12\bar{1}\}$ 面和 $\{12\bar{1}\}$ 面(B, D), 抑制 COM 沿 c -轴的生长^[13].

Figure 6 Schematic representation of the face-specific binding of polyD and polyE to the step sites on the (010) and (100) surfaces

5 调控草酸钙晶体的形貌

北大齐利民等^[14]研究了水溶液中双亲水嵌段共聚物(聚乙二醇-嵌段-聚异丙烯, PEG-block-PMAA)对 CaOxa 生长和形貌的调控作用, 得出: (1) 在无聚合物添加剂时, 得到大量片状 COT 晶体和少量四角双锥 COD 晶体(见图 7a); 当共聚物浓度为 0.2 g/L 时, 片状 COT 消失, 而 COD 晶体沿 c -轴延长, 形成以 $\{001\}$ 晶面为主要晶面的四方棱柱状晶体(见图 7b); 共聚物浓度增加到 2 g/L 时, 四方棱柱状 COD 再度沿 c -轴延长, 形成棒状四棱柱(见图 7c), 这表明共聚物 PEG-block-PMAA 对 COD $\{001\}$ 面的择优吸附; (2) 固定共聚物浓度, 降低 CaOxa 浓度有利于此共聚物在 COD $\{001\}$ 晶面的吸附, 导致 COD 形貌从以 $\{10\bar{2}\}$ 为主要晶面的四角双锥逐渐转变为以 $\{001\}$ 面为主的棒状四方棱柱形; (3) 改变 $\text{Ca}^{2+}/\text{Oxa}^{2-}$ 的比率可以改变草酸钙晶体的表面电性, 从而影响聚合物与 COD 晶体的相互作用, 导致 COD 晶体的形貌变化。 $\text{Ca}^{2+}/\text{Oxa}^{2-}$ 为 1/2 时, 得到正方形的 COD(见图 8a), 而 $\text{Ca}^{2+}/\text{Oxa}^{2-}$ 为 2/1 时, 得到 c -轴拉长的 COD 棒条状晶体(见图 8b), 这表明 COD 表面过量的草酸根离子存在能够削弱聚阴离子在 COD $\{001\}$ 面上的吸附, 而 COD 表面过量的钙离子存在则促进聚合物在 COD 晶面 $[\{001\}$ 面除外]的吸附。

PEG-block-PMAA 共聚物之所以能控制 COD 晶体形貌, 归因于其独特结构, 它由 2 个亲水链段——粘合链段和促溶链段组成^[15], 且这 2 个链段与无机表面的亲和力不同。促溶链段, 即 PEG 链段, 起分散稳定作用, 可以稳定聚合物对 COD $\{001\}$ 面的特定吸附, 并通过它的空间屏蔽效应阻止晶体的聚集; 粘合链段, 即 PMAA 链段, 可选择性吸附在无机晶体的特定晶面。带羧酸根的 PMAA 链段不但与金属离子存在较强的相互作用, 而且与 CaOxa 晶体的某些晶面之间可能存在特定的界面分子识别作用, 从而达到控制草酸钙等无机晶体形貌的作用。

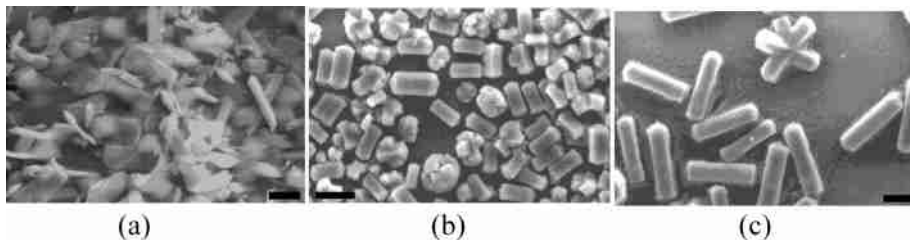


图 7 共聚物 PEG- b -PMAA 浓度对 CaOxa 形貌影响的 SEM

共聚物浓度分别为(a) 0, (b) 0.2, (c) 2 g/L. $[\text{CaOxa}] = 1 \text{ mM}$. 标尺: $1 \mu\text{m}$ ^[14]

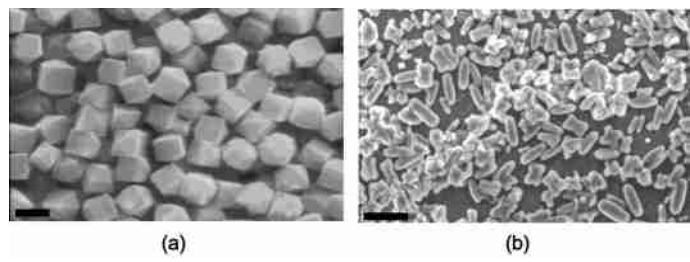


图 8 在 0.2 g/L PEG-*b*-PMAA 存在下不同 $\text{Ca}^{2+}/\text{Oxa}^{2-}$ 比率对 CaOxa 晶体形貌影响的 SEM
[Ca^{2+}]/[Oxa^{2-}]为: (a) 1/2; (b) 2/1, [Oxa^{2-}]=1 mM, 标尺: 2 μm ^[14]

Figure 8 SEM of CaOxa crystals obtain in the presence of 0.2 g/L of PEG-*b*-PMAA

6 抑制草酸钙晶体与尿路细胞膜的黏附

尿石晶体在体内的滞留取决于尿路细胞膜表面对晶体的黏附。动物实验表明,去除肾上皮细胞的黏液层后,能加快 CaOxa 晶体与细胞膜之间的黏附,因此,具有保护黏液层的物质,能有效地抑制 CaOxa 晶体于尿路细胞膜的黏附,从而防止尿石形成。一些聚阴离子电解质具有恢复受损黏液层的作用,因而能抑制 CaOxa 晶体与细胞膜的黏附。

表 3 鼠尿、PPS 和肝磷脂对酸处理过的大鼠膀胱的修复作用^[17]

Table 3 Effect of urine, PPS and heparin on restoration of anti-adherence properties to acid treated rat bladder			
Test Substance	No	Mean % Adherence ± SEM	p Value vs Acid Treatment
Rat urine	8	13.7±2.4	<0.02
Heparin	13	0.6±0.3	<0.001
PPS	10	2.1±1.0	<0.01

戊聚糖聚磺酸盐(PPS)和肝素均可修复受损的尿路细胞膜^[16]。PPS 是戊醛糖的线性聚合物,与肝素和硫酸皮肤素的结构相相似,即在 2、3 位含有与氧连接的磺酸盐。Smith^[17]研究了 PPS 对 CaOxa 晶体与大鼠膀胱黏附的影响,如表 3 所示。可见,加入肝素和 PPS 后,黏附在大鼠膀胱膜上的相对晶体数量从 13.7 分别减少到了 0.6 和 2.1。PPS 所具有抗黏附性能主要归因于其憎水性,而与其所带电荷关系不大。PPS 能覆盖在尿路细胞膜表面的阴离子分子(如唾液酸等)上面,在尿液与细胞膜之间起着缓冲器作用,从而阻止晶体的黏附。

7 展望

如何延缓泌尿系结石形成和复发仍是一个亟待解决的问题。至今为止,聚合物对尿石形成影响的研究仍显不足,其主要原因是聚合物的种类繁多,结构差异极大,导致其对尿石的作用机理复杂。不同类型、不同支链、不同官能团的聚合物对尿石的影响均不相同。即使是同一聚合物,在不同条件下,它既可以抑制尿石晶体的成核,生长、聚集,也可以抑制尿石晶体与尿路细胞膜的黏附。目前,研究较多的是起抑制作用的聚合物,对聚合物促进尿石的研究还很缺欠,这需要医学、化学、生物、病理学和动物学等多学科的研究工作者共同协作和努力。由于人体尿液中本身含有大量的聚合物,特别是聚多糖,因此,对聚合物与草酸钙结石相互作用的研究,有助于对尿石病的防治及防石药物的开发。

参考文献:

[1] Ouyang J M, Deng S P, Li X P, Tan Y H, Tieke B. Science in China, Ser. B, 2004, 47(4): 311~319.
[2] Georgiev G. S, Diarova M D, Simeonova B B, Georgiev G I. Polym J, 1996, 28(8): 732~733.
[3] Egan T J, Allen L R, Tewolde S. J Biol Inorg Chem, 2004, 9: 195~202.

- [4] Bouropoulos K, Bouropoulos N, Melekos M, Koutsoukos P G, Chitanu G C, Anghelescu-Dogaru A G, Carpov A A. *Am Urol Assoc*, 1998, 159 (5); 1755~1761.
- [5] 欧阳健明, 陈德志, 李详平. *无机化学学报*, 2004, 20(5); 613~616.
- [6] Guo S W, Ward M D, Wesson J A. *Langmuir*, 2002, 18; 4284~4291.
- [7] Burdon J, Oner M, Calvert P. *Mater Sci Eng C*, 1996, 4; 133~137.
- [8] Kimberly G C, Laurie B G, Saeed R K, Hassan E S. *J Coll Interf Sci*, 2002, 256; 168~174.
- [9] Baumann J M, Affolter B, Caprez U, Henze U. *Eur Urol*, 2003, 43; 421~425.
- [10] Sheng X X, Ward M D, Wesson J A. *J Am Chem Soc*, 2003, 125; 2854~2855.
- [11] 欧阳健明. *科学通报*, 2004, 49(2); 107~114.
- [12] Millan A. *J Mater Sci*, 1997, 8; 247~250.
- [13] Jung T S, Sheng X X, Choi C K, Kim W S, Wesson J A, Ward M D. *Langmuir* 2004, 20; 8587~8596.
- [14] Zhang D B, Qi L M, Ma J M, Cheng H M. *Chem Mater*, 2002, 14(6); 2450~2457.
- [15] 齐利民, 张冬柏, 马季铭, 程虎民. *高等学校化学学报*, 2004, 25(1); 159~161.
- [16] Jones M, Monga M. *J Endourol*, 2003, 17(10); 855~858.
- [17] Smith C L. *Am Urol Assoc*, 2004, 171; 882~884.

Research Development of Influence of Polymers on Crystallization of Calcium Oxalate and its Significance on Prevention of Urinary Stones

DENG Lan-qing, OUYANG Jian-ming*

(*Institute of Biomineralization and Lithiasis Research, Jinan University, Guangzhou 510632, China*)

Abstract: Polymer can inhibit or promote the formation of calcium oxalate (CaOxa) stones depending on its molecular structure and properties. The research progress of the effect of polymers on nucleation, growth, aggregation, and the adherence between CaOxa crystals and cell membrane was summarized. The mechanisms of polymers on the effect of crystal faces and morphology of CaOxa crystals were also discussed. The problems faced and the developing direction were also indicated.

Key words: Polymer; Calcium oxalate; Urinary calculi

(上接第 36 页)

Research Progress of Biodegradable Polymer/Layered Silicate Nanocomposites

YI Ju-zhen, ZHANG Li-ming

(*Institute of Polymer Science, School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China*)

Abstract: Biodegradable polymer/layered silicate (BPLS) nanocomposites are attracting great interest from researchers as a type of high-performance and environmental benign materials. A review deals with the preparation, characterization, materials properties and mechanism of BPLS nanocomposites. Some uncertain problems and potential applications of this kind of materials were prospected.

Key words: Biodegradable polymer; Layered silicate; Nanocomposites