



光化学原位制备PDEA-磁性纳米凝胶用于DNA固定及缓释研究

孙汉文^{①②}, 张连营^①, 朱新军^①, 王丽梅^①

① 德州学院德州先进材料研究所, 山东德州 253023;

② 功能高分子材料教育部重点实验室, 南开大学高分子化学研究所, 天津 300071

E-mail: hanwen916@163.com

2009-08-05 收稿, 2009-09-22 接受

山东省自然科学基金(编号: Q2006F01)和山东省科技攻关计划(编号: 2007GG3WZ02066)资助项目

摘要 应用光化学原位聚合法合成了聚(甲基丙烯酸二乙氨基乙酯)包覆的磁性纳米凝胶(PDEA-磁性纳米凝胶). 应用傅里叶变换红外光谱(FTIR)、热重分析仪(TGA)、振动样品磁强计(VSM)、光子相关光谱(PCS)等对PDEA-磁性纳米凝胶的结构、形貌、磁学性质、粒径及表面 ζ -电位等进行了表征. 结果表明, PDEA-磁性纳米凝胶形状较规则, 为“核-壳”结构, 表面PDEA高分子层约为26%, 平均水合粒径为43 nm, 具有超顺磁性. 该磁性纳米凝胶具有明显的pH敏感性, 在室温、pH 5.0时可结合DNA分子, 最大结合量为51 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 在pH 7.4条件下能够将DNA高效释放出来, 且呈现出明显的缓释效应, 加之良好的磁响应性能, 使其可作为一种新型磁靶向转基因载体应用于生物医学研究.

关键词

PDEA-磁性纳米凝胶

光化学聚合

pH敏感

DNA固定和释放

磁性纳米凝胶是一类纳米尺度的、具有核-壳结构的磁性复合材料, 内核为磁性 Fe_3O_4 (或 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)等磁性纳米微粒, 外壳为水溶性高分子等功能材料, 兼有内核的磁响应性及外壳材料的生物功能性, 在蛋白/酶固定、生物分离、磁共振成像、靶向药物载体等生物医学领域有着广阔的应用前景^[1~4]. 磁性纳米粒子表面经特殊材料修饰后, 可结合DNA(或RNA)并携带其定向移动, 因此以其作为一种新型非病毒类靶向转基因载体的应用受到广泛关注^[5,6]. 在该类研究中, 磁性纳米粒子的表面修饰材料多为聚乙烯亚胺(PEI), 聚酰胺-胺(PAMAM)树状大分子, 多聚赖氨酸等阳离子多聚物^[7]. 这些阳离子多聚物能够与DNA形成紧密复合物, 并携带DNA转染细胞. 与常用的病毒载体相比, 该类载体具有DNA容量大, 相对安全等优点^[8]. 然而, 阳离子多聚物与DNA分子形成的紧密复合物在体内条件下难以解离, 从而导致转染效率低下, 这也是其作为转基因载体大范围应

用的主要瓶颈之一^[8,9]. 因此, 选择一种可结合DNA并能够在细胞内有效将DNA从复合物中释放出来的新型磁性纳米粒子仍在不断探索之中.

甲基丙烯酸二乙氨基乙酯(2-(diethylamino) ethyl methacrylate, DEA)是一种水溶性、pH敏感性单体, 具有结合DNA的能力, 常用于pH敏感性聚合物聚(甲基丙烯酸二乙氨基乙酯)(PDEA, $\text{pK}_a \sim 7.3$)和基于PDEA共聚物的制备, 进而可用作转基因的载体^[10,11]. 2001年以来, 本课题组在应用紫外光引发不饱和单体在 Fe_3O_4 粒子表面聚合制备高分子包覆的磁性纳米凝胶方面进行了成功探索^[12~14]. 本文以DEA为单体, 聚乙二醇双丙烯酸酯(polyethylene glycol diacrylate, PEGDA)为交联剂, 在水相中制备了聚(甲基丙烯酸二乙氨基乙酯)磁性纳米凝胶(PDEA-磁性纳米凝胶), 对其磁学性质等进行了系列表征, 并着重考察了该新型纳米凝胶对DNA的结合及释放性能, 为构建新型磁靶向转基因载体奠定实验基础.

引用格式: 孙汉文, 张连营, 朱新军, 等. 光化学原位制备PDEA-磁性纳米凝胶用于DNA固定及缓释研究. 科学通报, 2009, 54: 3449~3454

Sun H W, Zhang L Y, Zhu X J, et al. Photochemical preparation of polyDEA-coated magnetic nanoparticles for DNA capture and release (in Chinese). Chinese Sci Bull (Chinese Ver), 2009, 54: 3449~3454, doi: 10.1360/972009-1709

1 实验

(i) 试剂与仪器. DEA, PEGDA(Mn~550)购自 Sigma-Aldrich 公司; $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (25wt%)均为分析纯, 购自中国医药集团上海化学试剂公司; λ DNA 购自上海生物工程有限公司; 高纯氮气(99.999%) 购自德州龙力气体有限公司; 实验所用水均为三蒸水.

数显电动搅拌器(德国IKA公司) 用于 Fe_3O_4 纳米粒子的制备; 英国马尔文Malvern公司光子相关光谱(photon correlation spectroscopy, PCS)(Zetasizer Nano ZS)用于测定磁性纳米凝胶的平均水合粒径、粒径分布及表面 ζ -电位; 波长范围 4000~500 cm^{-1} Nicolet傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 用于测定磁性纳米凝胶的表面官能团; 热重分析仪(TGA-60, 日本岛津)进行磁性纳米凝胶的组分含量分析; 透射电子显微镜(TEM, Philips, CM120)用于观测磁性纳米凝胶的形貌; 振动样品磁强计(VSM, Princeton Applied Research Model 155)用于测定样品室温下的磁学性质; 紫外可见分光光度计(BioMate)定量检测DNA的含量; 2 根 8 W 低压汞灯管(辐射以波长 253.17 nm 为主的短波紫外线)作为合成PDEA-磁性纳米凝胶的光化学装置, 详细介绍见文献 [13].

(ii) 光化学制备PDEA-磁性纳米凝胶. 超顺磁性 Fe_3O_4 纳米粒子参照文献 [15,16]方法制备. 取 430 μL DEA及 40 μL PEGDA溶于 60 mL水中, 机械搅拌 5 min 使溶液混匀. 加入 10 mg Fe_3O_4 纳米粒子, 继续搅拌 30 min使DEA单体及PEGDA交联剂充分吸附在 Fe_3O_4 纳米粒子表面. 应用紫外光辐照该反应体系 20 min, 整个反应过程在 N_2 保护下进行. 反应完毕, 磁性分离, 应用三蒸水反复清洗, 以除去未反应的单体及交联剂, 最后将PDEA-磁性纳米凝胶保存于三蒸水中.

(iii) PDEA-磁性纳米凝胶结合 DNA 研究. 1.0 mg PDEA-磁性纳米凝胶溶于 2 mL 包被缓冲液中(PBS, pH 5.0), 加入不同量的 DNA (25, 50, 100, 200, 300 及 400 μg) 混合均匀, 置入摇床孵育 10 min. DNA 分子能够通过静电作用结合在 PDEA-磁性纳米凝胶表面, 形成 DNA/PDEA-磁性纳米凝胶复合物. 反应完毕, 磁性分离, 并用清洗缓冲液(PBS, pH 5.0)清洗 2 次. 分别测定磁性分离后包被缓冲液及清洗缓冲液中的 DNA 含量, 并按公式(1)计算 DNA 的结合量(M_c)及结合率(E_c).

$$M_c = M_a - M_s - M_w,$$

$$E_c = M_c / M_a \times 100\%, \quad (1)$$

其中, M_a 为加入的 DNA 量, M_s 为包被缓冲液上层清液中的 DNA 量, M_w 为清洗缓冲液中的 DNA 量.

(iv) DNA 释放研究. 分别应用磷酸盐缓冲液(PBS, 0.1 mol/L, pH 7.4), 模拟体液(SBF, pH 7.4) 及 Tris-HCl(0.05 mol/L, pH 7.4)作为释放缓冲液, 在室温条件下考察 DNA/PDEA-磁性纳米凝胶对 DNA 的释放行为. 具体操作为: 1.0 mg PDEA-磁性纳米凝胶(结合有 40 μg DNA)溶于 3 mL 释放缓冲液中. 混匀避光反应一定时间, 磁性分离, 取 0.1 mL 上层清液用紫外分光光度计测定其 DNA 含量, 同时, 向反应体系中加入 0.1 mL 新鲜释放缓冲液, 继续孵育. 在 t_i 时刻处的 DNA 释放量(M_i)及释放率(F_i)按公式(2)计算.

$$M_i = C_i V + \sum C_{i-1} V_s, \\ F_i = M_i / M_c \times 100\%, \quad (2)$$

其中, C_i 为 t_i 时刻取出的 0.1 mL 释放缓冲液中的 DNA 浓度, V 为释放环境的总体积(即 3 mL), V_s 为取出的样品体积(即 0.1 mL), M_c 为结合在 PDEA-磁性纳米凝胶表面的 DNA 量(即 40 μg).

2 结果与讨论

2.1 PDEA-磁性纳米凝胶制备及组分分析

在 Fe_3O_4 纳米粒子、DEA单体及PEGDA交联剂混合液中, 由于 Fe_3O_4 纳米粒子具有高的表面能, 能将体系中的DEA单体及PEGDA交联剂吸附在表面; 据相关文献报道 [17,18], 由于 Fe_3O_4 的光子截面远大于单体或交联剂分子的光子截面, 当紫外光辐照时, Fe_3O_4 纳米粒子吸收了近乎全部的光子, 在表面形成“价带空穴”(valence band holes)和“导带电子”(conduction band electrons), 价带空穴激发单体形成单体自由基, 从而引发光化学聚合, 在交联剂作用下, 将单体聚合包覆在 Fe_3O_4 纳米粒子表面. 另外, 高速搅拌及对称辐照可使光聚合反应在整个体系中均匀发生, 最终制备表面包覆PDEA的磁性纳米凝胶(PDEA-磁性纳米凝胶).

PEGDA含有PEG链, 具有良好的水溶性及生物相容性, 常作为交联剂用于组织相容性水凝胶的合成, 适用于生物医学领域 [19]. 本实验选用PEGDA作为交联剂, 能够提高PDEA-磁性纳米凝胶的生物相容性.

为确定 PDEA 对 Fe_3O_4 纳米粒子的包覆, 将制备的 PDEA-磁性纳米凝胶反复洗涤真空干燥后, 进行红外光谱测定. 图 1 为 Fe_3O_4 纳米粒子及 PDEA-磁性纳米凝胶的红外光谱, 曲线 b 中 1724 和 1103 cm^{-1} 分别对应于 PDEA 及 PEGDA 中 C=O 键和 C—O 键的

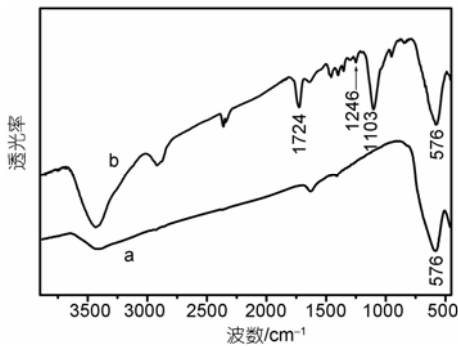


图1 样品红外光谱图

a, Fe_3O_4 纳米粒子; b, PDEA-磁性纳米凝胶

伸缩振动, 1246 cm^{-1} 对应 PDEA 中 C—N 的伸缩振动, 曲线 a 和 b 中 576 cm^{-1} 强吸收对应于 Fe_3O_4 特征吸收峰. 综上所述可以看出, PDEA 已成功包覆在 Fe_3O_4 粒子表面.

图 2 为 Fe_3O_4 纳米粒子及 PDEA-磁性纳米凝胶在氮气氛围下测定的 TGA 结果. 由图可见, Fe_3O_4 纳米粒子及 PDEA-磁性纳米凝胶具有明显不同的 TGA 曲线, 可通过该曲线粗略推测 PDEA-磁性纳米凝胶表层 PDEA 的含量. 由曲线 a 可知, Fe_3O_4 纳米粒子在 $120\sim 700^\circ\text{C}$ 的升温过程中失重约 5%. PDEA-磁性纳米凝胶在温度 $120\sim 700^\circ\text{C}$ 过程中失重为 31% (图 2 曲线 b), 扣除 Fe_3O_4 纳米粒子在该温度范围内的失重, 可推测 PDEA-磁性纳米凝胶表层的 PDEA 组分约为总质量的 26%.

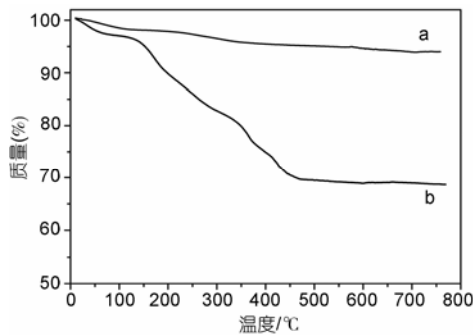


图2 样品 TGA 分析

a, Fe_3O_4 纳米粒子; b, PDEA-磁性纳米凝胶

2.2 PDEA-磁性纳米凝胶的形貌、粒径及磁学性质

PDEA-磁性纳米凝胶的 TEM 照片如图 3 所示. 该磁性纳米凝胶为近似球形, 为“核-壳”结构. 应用 PCS 测定其平均水合粒径为 43 nm , 且具有窄的粒径分布, 样品的多分散系数(polydispersion index)为 0.267 (图 4). PEDA-磁性纳米凝胶在水相中形成黑色胶体 (图 5(a)), 在外加磁场下有好的磁响应性 (图 5(b)),

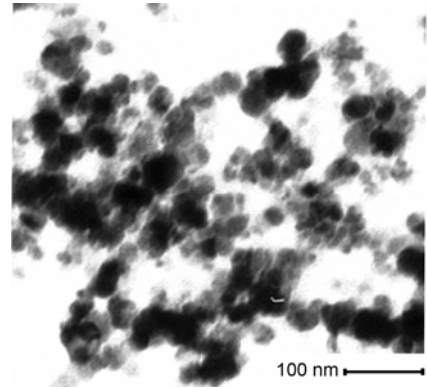


图3 PDEA-磁性纳米凝胶 TEM 照片

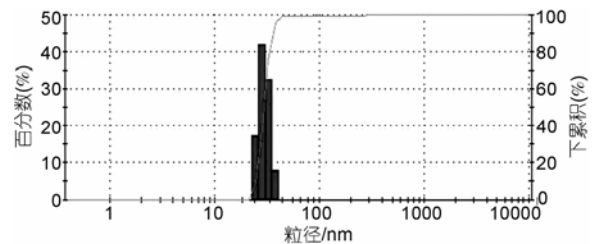


图4 PDEA-磁性纳米凝胶的粒径分布

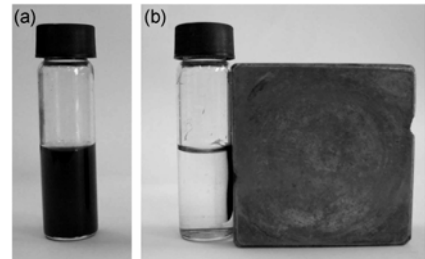


图5 PDEA-磁性纳米凝胶在常温下的照片

(a) 分散于水溶液中; (b) 磁分离 1 min

有利于其在体内外的磁分离操作. 图 6 为 PEGMA 磁性纳米凝胶的磁滞回线, 从图中可以看出, PEDA-磁性纳米凝胶磁滞回线成 S 形, 矫顽力几乎为零, 具有超顺磁性, 比饱和磁化强度(saturation magnetization)为 52 emu/g , 略低于 Fe_3O_4 纳米粒子 (67 emu/g). PEDA-磁性纳米凝胶具有较高的饱和磁化强度, 适于生物体内应用.

2.3 PDEA-磁性纳米凝胶的表面电位

ζ -电位是纳米凝胶的一个重要的特征参数, 与纳米粒子体系的稳定性、尤其是在动物体内的稳定性密切相关 [20], 同时, 也可以根据 PDEA-磁性纳米凝胶的 ζ -电位预测其结合 DNA 及释放 DNA 的性能. PEDA-磁性纳米凝胶在不同 pH 下的表面 ζ -电位情况如图 7 所示, 该磁性纳米凝胶的等电点 $\text{pI} = 6.3$. PEDA-

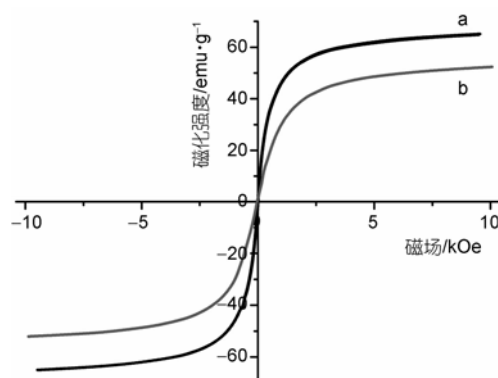


图 6 样品常温磁滞回线

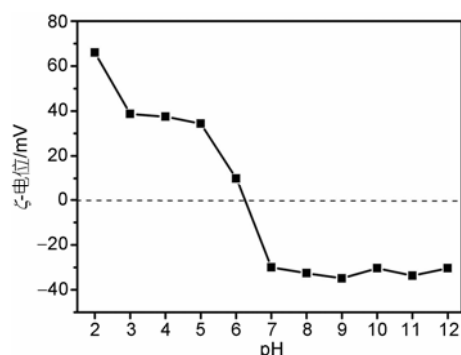
a, Fe_3O_4 纳米粒子; b, PDEA-磁性纳米凝胶

图 7 PDEA-磁性纳米凝胶在不同 pH 条件下的 ζ-电位变化情况

磁性纳米凝胶具有明显的 pH 敏感性, 在 pH 5.0 时表面 ζ-电位为 +34.4 mV, 表面较高的正电位使其具有结合 DNA 的能力; pH 7.4 时表面 ζ-电位为 -34.7 mV, 较高的负 ζ-电位, 使 PEDA-磁性纳米凝胶在 pH 7.4 条件下有效释放其所结合的 DNA 分子。

2.4 PDEA-磁性纳米凝胶结合 DNA

在 pH 5.0 时, PDEA-磁性纳米凝胶表面带有较高的正电荷, 可通过静电相互作用将 DNA 分子结合在其表面。PDEA-磁性纳米凝胶与不同量 DNA 孵育后的结果如图 8 所示。由图可以看出, 随着 DNA 加入量的增加, 结合在 PDEA-磁性纳米凝胶表面的 DNA 量也逐渐增大并趋于饱和。当与 40 μg DNA 孵育时, 约有 93% 的 DNA 结合在 PDEA-磁性纳米凝胶表面; 当与 60 μg DNA 孵育时, 约有 86% 的 DNA 结合在 PDEA-磁性纳米凝胶表面, 此时 PDEA-磁性纳米凝胶结合 DNA 的能力基本达饱和。即 1.0 mg PDEA-磁性纳米凝胶可结合 DNA 的最大量为 51 μg。DNA 结合量略低于 PEI 或二乙烯三胺基丙基三甲氧基硅烷

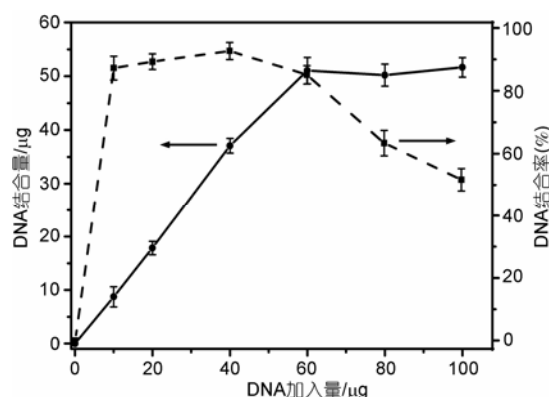


图 8 PDEA-磁性纳米凝胶结合 DNA 情况

(AEEA) 包覆的磁性纳米粒子 (60~70 μg/mg)^[21,22]。

为了考察 PDEA-磁性纳米凝胶结合 DNA 能力的稳定性, 将 PDEA-磁性纳米凝胶溶于 PBS (pH 5.0) 中, 4°C 条件静置保存, 考察其最大 DNA 结合量随保存时间的变化情况。结果表明, 其 DNA 结合能力在观察的 35 天内没有明显变化。这可能是由于在此保存条件下, 其表面带有大量正电荷阻止了 PDEA-磁性纳米凝胶的团聚, 从而保证了其结合 DNA 能力的稳定性。

2.5 PDEA-磁性纳米凝胶结合 DNA 后粒径及 ζ-电位变化情况

PDEA-磁性纳米凝胶通过静电相互作用将 DNA 分子结合在其表面, 结合 DNA 后其粒径及 ζ-电位必然发生相应变化。PDEA-磁性纳米凝胶结合不同量 DNA 后的粒径及 ζ-电位变化情况 (室温, pH 5.0) 如图 9 所示。由图 9(a) 可见, PDEA-磁性纳米凝胶粒径随结合 DNA 量的增加而增大, 变化范围为 42.8~230.7 nm。PDEA-磁性纳米凝胶的 ζ-电位随结合 DNA 量的增加而明显降低, 变化范围为 +25.1~-2.58 mV (图 9(b)), 这一结果进一步印证了 PDEA-磁性纳米凝胶对 DNA 的成功结合。

2.6 DNA 释放

DNA 能够从 DNA/PDEA-磁性纳米凝胶复合物中释放出来是实现其高效率基因转染的必要条件。为研究 DNA 的释放行为, 分别应用 PBS (0.1 mol/L, pH 7.4), Tris-HCl (0.05 mol/L, pH 7.4) 及 SBF (pH 7.4) 作为释放体系, 考察了 DNA/PDEA-磁性纳米凝胶复合物的释放行为, 结果如图 10 所示。DNA/PDEA-磁性纳米凝胶复合物在这三种体系中具有不同的释放行为。在 PBS 中, 表现有突释效应 (fast burst effect),

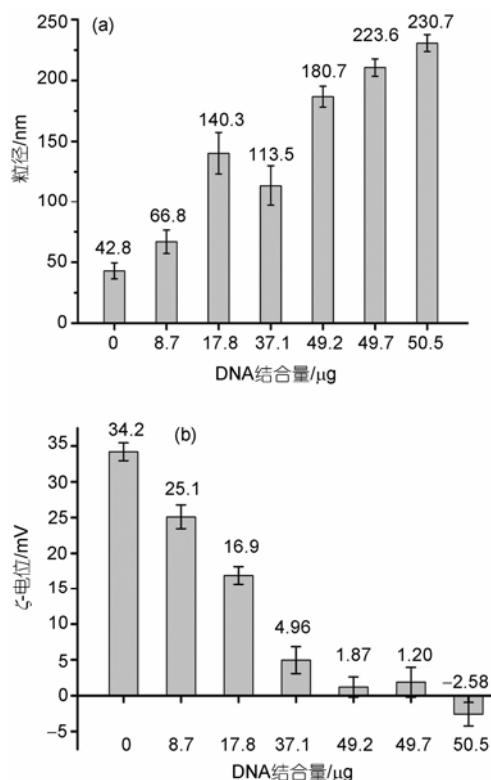


图9 PDEA-磁性纳米凝胶结合DNA后的变化情况
(a) 粒径变化; (b) ζ -电位变化

在前20 min内有86.7%的DNA释放出来, 在90 min内几乎全部DNA都释放出来. 而在Tris-HCl及SBF释放体系中, DNA的释放无突释效应, 而是表现一定缓释效应. 在SBF中, 前20 min内有36.1%的DNA释放出来, 前90 min有76.4%释放出来, 至360 min时, 有96%的DNA释放出来; 在Tris-HCl中, 前20 min内有12.7%的DNA释放, 前90 min内有32.9%的DNA释放, 至360 min时有82.8%的DNA释放出来. 这三种不同的释放行为可能与三种缓冲液的离子强度有关, 离子强度越高, DNA的释放速率越快 [22]. 由

图10还可以看出, DNA在这三种缓冲液中都能够高效率地将DNA释放出来, 释放率远大于PEI或AEEA包覆的磁性纳米粒子(~40%) [21,22]. PDEA-磁性纳米凝胶在pH 7.4条件下, 表面带有负电荷, 与DNA分子有一定的排斥作用, 从而能够高效释放DNA. PDEA-磁性纳米凝胶在Tris-HCl及SBF(更接近体液环境)中对DNA具有明显的缓释效应, 可有利于保持其在体内输运过程中不被核酸酶类降解 [8,11], 加之PDEA-磁性纳米凝胶的超顺磁性, 使其可作为一种潜在磁靶向转基因载体应用于临床研究.

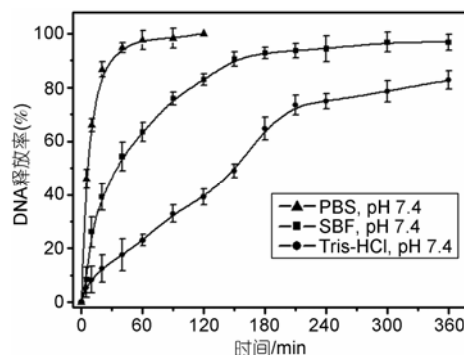


图10 PDEA-磁性纳米凝胶释放DNA情况

3 结论

本文应用光化学方法在水相中一步法制备了具有pH敏感性的PDEA-磁性纳米凝胶. 该磁性纳米凝胶在水相中呈分散状态, 平均水合粒径为43 nm, 具有良好的磁响应性. PDEA-磁性纳米凝胶在室温、pH 5.0时可结合DNA分子, 最大结合量为51 $\mu\text{g}/\text{mg}$, 在pH 7.4条件下能够高效将DNA释放出来, 且呈现出明显的缓释效应, 加之良好的磁响应性能, 使其可作为一种新型磁靶向转基因载体应用于生物医学研究.

参考文献

- Hu F Q, Wei L, Zhou Z, et al. Preparation of biocompatible magnetite nanocrystals for in vivo magnetic resonance detection of cancer. *Adv Mater*, 2006, 18: 2553—2556[DOI]
- 王显祥, 黄硕, 单志, 等. 自组装制备 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Au}$ 复合纳米粒子用于固定化葡萄糖氧化酶. *科学通报*, 2009, 54: 430—435
- Lu J, Ma S L, Sun J Y, et al. Manganese ferrite nanoparticle micellar nanocomposites as MRI contrast agent for liver imaging. *Biomaterials*, 2009, 30: 2919—2928[DOI]
- Sun C, Lee J S H, Zhang M. Magnetic nanoparticles in MR imaging and drug delivery. *Adv Drug Deliver Rev*, 2008, 60: 1252—1265[DOI]
- Zheng X L, Lu J P, Deng L, et al. Preparation and characterization of magnetic cationic liposome in gene delivery. *Int J Pharm*, 2009, 266: 211—217[DOI]
- Dobson J. Gene therapy progress and prospects: Magnetic nanoparticle-based gene delivery. *Gene Ther*, 2006, 13: 283—287[DOI]
- Pan B, Cui D, Sheng Y, et al. Dendrimer-modified magnetic nanoparticles enhance efficiency of gene delivery system. *Cancer Res*,

- 2007, 67: 8156—8163[DOI]
- 8 Mykhaylyk O, Vlaskou D, Tresilwised N, et al. Magnetic nanoparticle formulations for DNA and siRNA delivery. *J Magn Magn Mater*, 2007, 311: 275—281[DOI]
- 9 Park I K, Ng C P, Wang J, et al. Determination of nanoparticle vehicle unpackaging by MR imaging of a T2 magnetic relaxation switch. *Biomaterials*, 2008, 29: 724—732[DOI]
- 10 Kundu P P, Shirma V. Synthetic polymeric vectors in gene therapy. *Curr Opin Solid St M*, 2008, 12: 89—102[DOI]
- 11 Xu P, van Kirk E A, Murdoch W J, et al. Anticancer efficacies of cisplatin-releasing pH-responsive nanoparticles. *Biomacromolecules*, 2006, 7: 829—835[DOI]
- 12 Sun H W, Hong Jun, Meng F Z, et al. Novel core-shell structure polyacrylamide-coated magnetic nanoparticles synthesized via photochemical polymerization. *Surf Coat Tech*, 2006, 201: 250—254[DOI]
- 13 孙汉文, 张连营, 朱新军, 等. PEGMA 磁性纳米凝胶的光化学原位合成、表征及载药性能研究. *中国科学 B 辑: 化学*, 2008, 11: 999—1005
- 14 Sun H W, Zhang L Y, Zhang C L, et al. ^{188}Re -labeled MPEG-modified superparamagnetic nanogels: Preparation and targeting application in rabbits. *Biomed Microdevices*, 2008, 10: 281—287[DOI]
- 15 Liu X, Liu H, Xing J, et al. Preparation and characterization of superparamagnetic functional polymeric microparticles. *Chin Particuol*, 2003, 1: 76—79[DOI]
- 16 Maity D, Agrawal D C. Synthesis of iron oxide nanoparticles under oxidizing environment and their stabilization in aqueous and non-aqueous media. *J Magn Magn Mater*, 2007, 308: 46—55[DOI]
- 17 Behar D, Rabani J. Laser photolysis of TiO_2 layers in the presence of aqueous iodide. *J Phys Chem B*, 2001, 105: 6324—6329[DOI]
- 18 Stroyuk A L, Granchak V M, Korzhak A V, et al. Photoinitiation of butylmethacrylate polymerization by colloidal semiconductor nanoparticles. *J Photochem Photobiol A-Chem*, 2004, 162: 339—351[DOI]
- 19 Sagle A C, Ju H, Freeman B D, et al. PEG-based hydrogel membrane coatings. *Polymer*, 2009, 50: 756—766[DOI]
- 20 Mirhosseini H, Tan C P, Hamid N S A, et al. Effect of Arabic gum, xanthan gum and orange oil contents on ζ -potential, conductivity, stability, size index and pH of orange beverage emulsion. *Colloids Surf Physicochem Eng Asp*, 2008, 315: 47—56[DOI]
- 21 Nakagawa T, Hashimoto R, Maruyama K, et al. Capture and release of DNA using aminosilane-modified bacterial magnetic particles for automated detection system of single nucleotide polymorphisms. *Biotechnol Bioeng*, 2006, 94: 862—868[DOI]
- 22 Chiang C, Sung C, Wu T, et al. Application of superparamagnetic nanoparticles in purification of plasmid DNA from bacterial cells. *J Chromatogr B*, 2005, 822: 54—60[DOI]

Photochemical preparation of polyDEA-coated magnetic nanoparticles for DNA capture and release

SUN HanWen^{1,2}, ZHANG LianYing¹, ZHU XinJun¹ & WANG LiMei¹

¹Dezhou Institute of Advanced Materials, Dezhou University, Dezhou 253023, China;

²Key Laboratory of Functional Polymer Materials, Ministry of Education, Institute of Polymer Chemistry, Nankai University, Tianjin 300071, China

Poly(2-(diethylamino)ethyl methacrylate) coated magnetic nanoparticles (PDEA-MNPs) were prepared via photochemical method in aqueous system. Transmission electron microscopy (TEM) and photo correlation spectroscopy (PCS) results indicate that the PDEA-MNPs are nearly spherical in shape and have a uniform hydrodynamic particle size of 43 nm. The successful coating of PDEA on the MNPs was ascertained by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis, and the weight of PDEA polymer was calculated by thermogravimetric analyzer (TGA), accounting for 26%. The PDEA-MNPs behave superparamagnetically with a saturated magnetization of 52 emu/g. The PDEA-MNPs have pH-sensitive properties. They can capture DNA on their surface with a capture capability of 51 $\mu\text{g}/\text{mg}$ at pH 5.0 and efficient release DNA at pH 7.4. The slow-release characters, efficient release behavior and strong magnetic response make the PDEA-MNPs become an ideal candidate carrier in target gene delivery systems.

PDEA coated magnetic nanoparticles, photochemical polymerization, pH-sensitive, DNA capture and release

doi: 10.1360/972009-1709