科学通报 2010 年 第 55 卷 第 27-28 期：2683 ~ 2689
论 文 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

三磷酸腺苷与正电金纳米颗粒的配位作用及其等离子体共振吸收定量测定

李春梅[①], 李原芳[①], 王健[①], 黄承志[①②*]

① 发光与实时分析教育部重点实验室, 西南大学化学化工学院, 重庆 400715;
② 西南大学药学院, 重庆 400715
* 联系人, E-mail: chengzhi@swu.edu.cn

2010-04-16 收稿, 2010-08-13 接受
国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90813019)

摘要 在 pH 8.0 的 Tris-HCl 介质中, 三磷酸腺苷(ATP)能诱导十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)包被的正电金纳米颗粒(AuNPs)聚集, 引起其表面等离子体共振吸收及等离子体共振散射变化. 通过扫描电子显微镜、动态光散射及 Zeta 电位表征了金纳米颗粒的聚集, 讨论了 ATP 与金纳米颗粒的结合模式, 确定了三磷酸腺苷与正电金纳米颗粒的配位作用. 在此基础上建立了表面等离子体共振吸收定量检测 ATP 的方法. 方法的线性范围为 4.0~80 μmol/L, 检出限为 0.82 μmol/L. 相同浓度的 ADP, AMP, UTP, CTP 和 GTP 不干扰测定. 方法用于人体尿样 ATP 的检测, 回收率在 94.4%~123%之间, 相对标准偏差 RSD 小于 2.5%. 与传统 ATP 检测方法相比, 该方法简单快速, 选择性好.

关键词
金纳米颗粒
十六烷基三甲基溴化铵
三磷酸腺苷
等离子体共振吸收

三磷酸腺苷(ATP)是体内最重要的能量来源, 也是生物系统能量交换的中心. 它参与了活细胞的能量代谢及生物合成过程, 在调节细胞代谢和生化通道以及维持生物体的正常机能方面起着非常重要的作用. 因此, 迅速而准确地测定 ATP 的含量在研究细胞乃至机体的生理活性和代谢过程以及临床诊断方面都有非常重要的意义[1,2]. 目前检测 ATP 已有色度法[3]、荧光法[4]、生物发光法[5]、化学发光法[1,2]、色谱法[6,7]、质谱法[8]以及电化学传感[9]等多种方法. 荧光法与化学发光法能灵敏测定 ATP, 但常常选择性不高. 质谱法检测 ATP 虽然灵敏度高、重现性和选择性好, 但仪器昂贵. 因此发展简便快速的 ATP 检测方法有重要意义.

金纳米颗粒的消光系数比一般有机染料分子大 1000 倍以上, 具有独特的表面等离子体共振吸收. 金纳米颗粒聚集后相邻颗粒间电子偶极-偶极耦合作用会引起等离子体共振吸收峰的位移, 并伴随有明显的颜色变化[10,11]. 因而, 已经有大量基于金纳米颗粒聚集用于金属离子[12,13]、药物[14,15]、生物小分子[16,17]、生物大分子[18,19]以及细胞成像[20]等的分析方法. 文献报道基于金纳米颗粒聚集测定 ATP 的方法需要将 DNA 修饰到金纳米颗粒上, 操作繁琐、耗时较长、灵敏度不高[21,22]. 我们前期的研究工作表明, ATP 能较好地调控 CTAB 包被的正电金纳米颗粒的分散状态, 即随着 ATP 浓度逐渐增大, 金纳米颗粒经历分散-聚集-再分散过程[23]. 在此基础上, 进一步研究发现一定浓度范围内的 ATP 能诱导未修饰的正电金纳米颗粒聚集, 所导致的等离子体共振吸收变化可用于 ATP 的定量测定. 由此建立了一种简单、快速、高选择性的 ATP 检测方法, 并通过扫描电子显微镜、动态光散射及 Zeta 电位证实了金纳米颗粒的聚集, 探讨了 ATP 与金纳米颗粒结合的模式.

英文引用格式: Li C M, Li Y F, Wang J, et al. Plasmon resonance determination of ATP on the basis of its coordination with the surface of positive-charged gold nanoparticles (in Chinese). Chinese Sci Bull (Chinese Ver), 2010, 55: 2683—2689, doi: 10.1360/972010-714

1 实验

(ⅰ) 试剂及标准溶液. $HAuCl_4 \cdot 4H_2O$(上海国药集团化学试剂有限公司), 其贮备液为 2.0×10^{-3} mol/L. 使用 0.10 mol/L 硼氢化钠、0.10 mol/L 抗坏血酸(L-AA)和 0.20 mol/L CTAB 储备液. 2.0×10^{-4} mol/L ATP 储备液置于 4℃冰箱保存. 使用 pH 8.0 Tris-HCl 缓冲溶液控制溶液酸度. 实验用水均为超纯水, 试剂均为分析纯.

(ⅱ) 仪器. U-3010 紫外-可见分光光度计(日本日立公司); F-4500 荧光分光光度计(日本日立公司); Zetasizer Nano-ZS90 (马尔文公司)用于测定动态光散射及 Zeta 电位; S-4800 扫描电子显微镜(日本日立公司); H1650-W 离心机(湘仪离心仪器有限公司); QL-901 旋涡混合器(海门市其林贝尔仪器制造有限公司); PHS-3C 酸度计(上海大中分析仪器厂); HH-4 数显恒温水浴锅(江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司).

(ⅲ) 金纳米颗粒的制备. 正电金纳米颗粒采用晶种生长法[24,25]合成, 其粒径通过 SEM 确定约为 26 nm, 浓度以 $HAuCl_4 \cdot 4H_2O$ 的量来计算为 1.0×10^{-3} mol/L. 制备好的金纳米颗粒储备于 4℃冰箱中备用.

(ⅳ) ATP 测定. 在 1.5 mL 塑料管中依次加入 0.1 mL Tris-HCl 缓冲溶液 (pH 8.0), 0.05 mL 1.0×10^{-3} mol/L 金纳米颗粒, 一定量 ATP 储备液(2.0×10^{-4} mol/L)或尿样, 加水定容到 0.5 mL. 漩涡混匀, 在 37℃下反应 15 min 后, 在 U-3010 上测定体系消光度的变化.

(ⅴ) 尿样处理. 取 6 个健康人的尿液(3 男 3 女), 以 12000 r/min, 离心 20 min, 取上层清液用 0.45 μm 的滤膜过滤, 收集滤液储备于 4℃冰箱中, 测定时稀释 100 倍后按(ⅳ)节的方法进行测定.

2 结果与讨论

2.1 ATP 诱导金纳米颗粒聚集的光谱特征

图 1 是金纳米颗粒与 ATP 作用的消光光谱和光散射光谱. 金纳米颗粒的等离子体共振吸收峰位于 524 nm 处(图 1(a)), 等离子体共振散射峰位于 568 nm 处(图 1(b)). 随着 ATP 的加入, 由于电子偶极-偶极相互作用以及相邻颗粒间的等离子体耦合作用[14], 金纳米颗粒的等离子体共振吸收由 524 nm 逐渐红移至 600 nm(图 1(a)), 半峰宽也逐渐增大, 且在 600 与 524 nm 处的消光度比值(Ex_{600}/Ex_{524})与 ATP 浓度呈线性关系; 568 nm 处的等离子体共振散射强度也随 ATP 的加入逐渐增强(图 1(b)), 表明 ATP 可以诱导金纳米颗粒发生聚集, 其聚集程度可以用 Ex_{600}/Ex_{524} 表征[26]. ATP 诱导金纳米颗粒的聚集可以从 SEM(图 2)得到证实. 金纳米颗粒溶液本身为红色呈均匀分散状态(图 2(a)), 随着 ATP 加入, 溶液颜色由红色变成紫色最后呈蓝色, 金纳米颗粒呈聚集状态(图 2(b)和(c)).

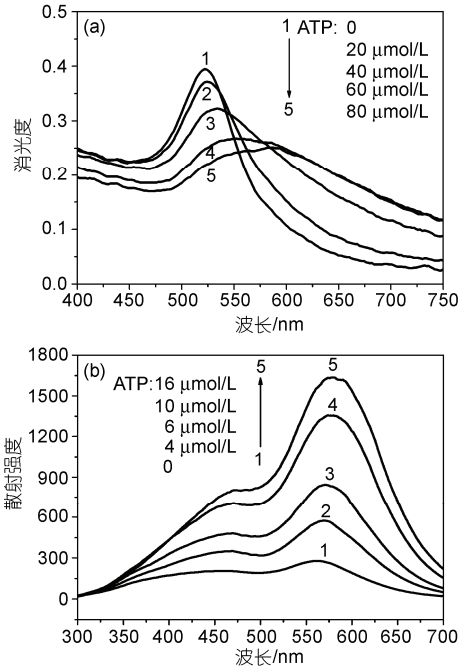

图 1 金纳米颗粒随 ATP 浓度变化的等离子体共振吸收光谱(a)与散射光谱(b)

金纳米颗粒, 1.0×10^{-4} mol/L; Tris-HCl (10 mmol/L, pH 8.0); 反应温度, 37℃; 反应时间, 15 min

2.2 ATP 诱导金纳米颗粒聚集的动态光散射和 Zeta 电位

为了进一步证实 ATP 诱导正电金纳米颗粒的聚集, 我们测试了体系的动态光散射[27](图 3(a))和 Zeta 电位(图 3(b)). 结果表明, 随着 ATP 浓度增大, 金纳米颗粒聚集体的水合粒径逐渐增大, 导致中金纳米颗粒等离子体共振吸收峰逐渐红移并且半峰宽增大(图 1(a)). 同时, 体系 Zeta 电位逐渐降低, 表明由 ATP 分子的负电磷酸根与金纳米颗粒表面带正电的 CTAB 产生静电吸附, 使得纳米颗粒表面的相对正电荷减小. 从图 3 中我们发现, 水合粒径或 Zeta 电位的数值与 ATP 浓度呈现出较好的线性关系. 因此, 也可利用动态光散射或 Zeta 电位的方法对 ATP 进行定量测定.

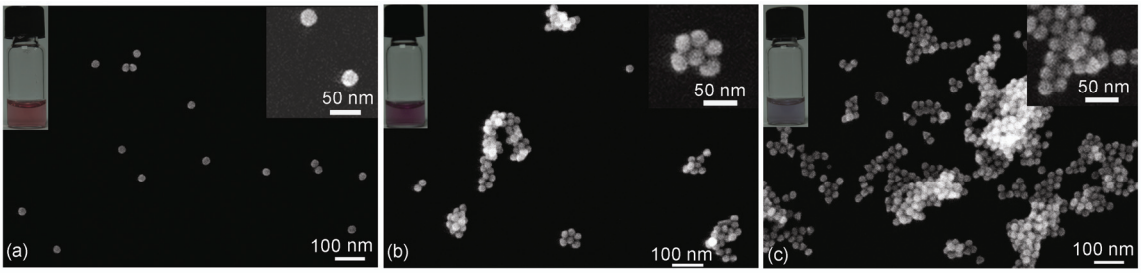

图 2　金纳米颗粒随 ATP 浓度增大发生聚集的 SEM 及颜色变化

金纳米颗粒, 1.0×10^{-4} mol/L; ATP, (a) 0; (b) 1.0×10^{-5} mol/L; (c) 4.0×10^{-5} mol/L; Tris-HCl (10 mmol/L, pH 8.0); 反应温度, 37℃; 反应时间, 15 min

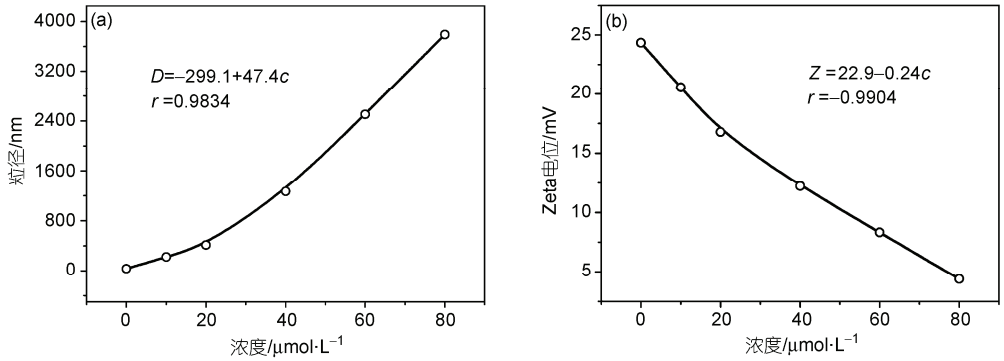

图 3　金纳米颗粒随 ATP 浓度变化的动态光散射(a)及 Zeta 电位变化(b)

金纳米颗粒, 1.0×10^{-4} mol/L; Tris-HCl (10 mmol/L, pH 8.0); 反应温度, 37℃; 反应时间, 15 min

2.3　ATP 与金纳米颗粒的结合模式

采用表面等离子体共振吸收研究了金纳米颗粒与 ATP 分子的结合模式. 当固定金纳米颗粒浓度为 1.0×10^{-4} mol/L 时, 逐渐增大 ATP 浓度, 以 Ex_{600}/Ex_{524} 比值对 ATP 浓度作图(图 4), 可以发现当金纳米颗粒与 ATP 分子结合达到稳定时, 二者结合的摩尔比为 1.28∶1.

由于金纳米颗粒与 ATP 分子的结合模式是其 γ 位的磷酸根通过与 CTAB 发生静电作用使得 ATP 分子靠近 AuNPs 表面, 进一步发生了 ATP 分子上碱基的 N7 原子与 Au 之间的 Au-N 配位作用[23,28,29]. 因此我们可以理论上估算 ATP 与金纳米颗粒的结合比. 由于每个纳米颗粒中原子数为 30.99 D^3(D 为纳米颗粒直径), 可计算出 26 nm 粒径的金纳米颗粒含有 5.4×10^5 个金原子[30]. 0.5 mL 1.0×10^{-4} mol/L 金纳米颗粒的反应液中有 3.01×10^{16} 个金原子, 即 5.57×10^{10} 个金纳米颗粒, 此时与之结合达到饱和的 ATP 浓度为 8.0×10^{-5} mol/L. 根据公式(1)[31]可计算金纳米颗粒表面结合 ATP 分子的密度 d:

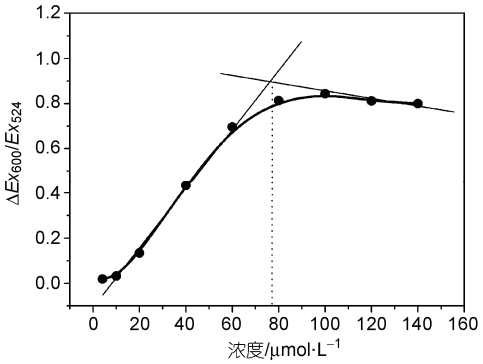

图 4　金纳米颗粒测定 ATP 的工作曲线

金纳米颗粒, 1.0×10^{-4} mol/L; Tris-HCl (10 mmol/L, pH 8.0); ATP 浓度依次为: 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 μmol/L; 反应温度, 37℃; 反应时间, 15 min

$$d=\frac{c_{\mathrm{ATP}}VN_0}{\pi n_{\mathrm{p}}D^2}, \tag{1}$$

其中, c_{ATP} 为结合达到饱和的 ATP 浓度, V 为溶液体积, n_{P} 为溶液中金纳米颗粒个数, D 为金纳米颗粒粒径, N_0 为阿伏伽德罗常数. 因此, 可以计算出每平方

纳米的金纳米颗粒表面可结合 200 个 ATP 分子, 由此得每个 26 nm 金纳米颗粒表面可结合 4.25×10^5 个 ATP 分子. 所以, 根据每个金纳米颗粒的原子个数, 可计算出金原子与 ATP 分子结合之比为 1.27∶1. 该计算结果刚好与通过二者反应达到饱和的摩尔比结果相吻合, 因此可近似认为一个金原子结合一个 ATP 分子.

2.4 条件优化

实验了室温(26℃)和 37℃水浴下, 体系在 600 与 524 nm 处的消光度比值与反应时间的关系. 从图 5 可见, 室温反应 40 min 后体系未达到稳定, 而在 37℃水浴中反应 15 min 后体系的 Ex_{600}/Ex_{524} 比值即达到稳定, 并至少在 40 min 内不会发生明显变化. 推测在该温度下更有利于 ATP 与 AuNPs 的结合. 因此后续实验都采用在 37℃水浴中反应 15 min 后进行测定.

在优化的反应时间和温度下, 考察了 HCl-CH_3COONa (pH 0.65~4.95), Na_2HPO_4-NaH_2PO_4 (pH 5.8~8.0)和 Tris-HCl (pH 7.1~9.0) 3 种缓冲溶液对反应体系的影响. 实验发现, 酸度和离子强度对体系的影响较大. 在 HCl-CH_3COONa 缓冲溶液下, 体系空白值较低, 但加入 ATP 后体系 Ex_{600}/Ex_{524} 相比空白变化较小. 可能是由于在酸性条件下, ATP 分子的磷酸根大部分质子化, 裸露的负电荷较少, 因此与 AuNPs 表面的 CTAB 结合较少. 当使用 Na_2HPO_4-NaH_2PO_4 缓冲溶液时, 发现磷酸盐离子强度较大会促使 CTAB 包被的 AuNPs 聚集, 导致空白值很高. 而在 Tris-HCl 缓冲溶液中, 体系的空白值很低, 并且当 pH 达到 8.0 后, 样品与空白的 Ex_{600}/Ex_{524} 差值较大且比较稳定(图 6). 可能是在弱碱性条件下, ATP 裸露的负电荷更多, 与 AuNPs 的结合更好, 实验选择 Tris-HCl pH 8.0 作缓冲溶液.

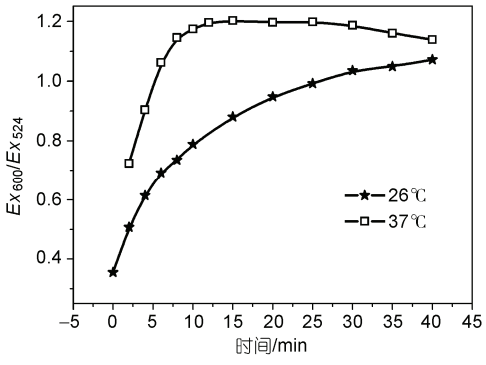

图 5 金纳米颗粒与 ATP 反应的曲线

金纳米颗粒, 1.0×10^{-4} mol/L; ATP, 6.0×10^{-5} mol/L; Tris-HCl (10 mmol/L, pH 8.0)

2.5 分析参数

按照上述优化的实验条件, 以 Ex_{600}/Ex_{524} 比值与 ATP 浓度进行线性拟合, 线性方程为 $\Delta Ex = -0.05316 + 0.01144\ c$ ($n = 6$), 相关系数 $r = 0.9913$, 线性范围为 4.0~80 μmol/L, 11 次平行测定得出检出限(3σ)为 0.82 μmol/L.

2.6 选择性实验及共存物质的影响

同时实验发现, 与 ATP 结构类似的不同浓度的各种核苷酸分别与 AuNPs 作用. 如图 7 所示, ATP 类似物在相同条件下只能发生微弱的反应. 在 0~120

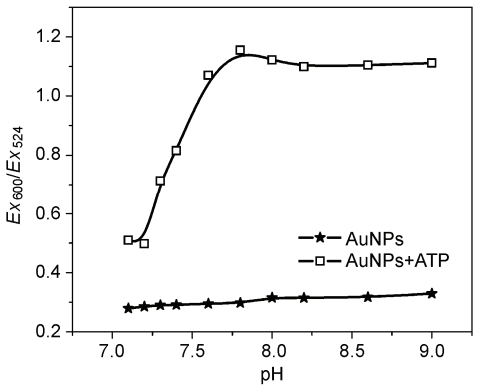

图 6 pH 的影响

金纳米颗粒, 1.0×10^{-4} mol/L; ATP, 6.0×10^{-5} mol/L; 反应温度, 37℃; 反应时间, 15 min

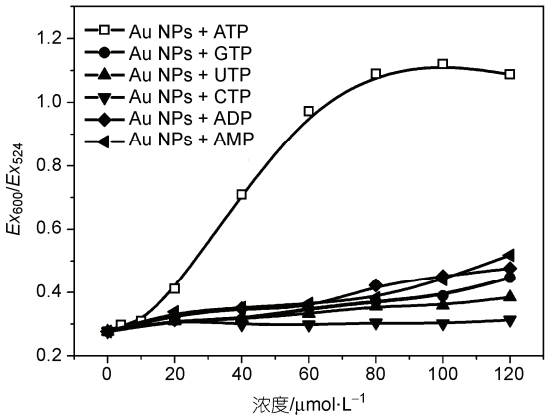

图 7 选择性实验

金纳米颗粒, 1.0×10^{-4} mol/L; Tris-HCl (10 mmol/L, pH 8.0); 反应温度, 37℃; 反应时间, 15 min

表 1　共存物质的影响 [a)]

共存物质	允许倍数(4.0×10^{-5} mol/L)	相对误差ΔA(%)	共存物质	允许倍数(4.0×10^{-5} mol/L)	相对误差ΔA(%)
Na^+, HPO_4^{2-}	100	0.7	Na^+, SO_3^{2-}	125	1.4
Na^+, $H_2PO_4^-$	50	1.0	Na^+, EDTA	50	8.7
Na^+, Ac^-	100	2	HSA	2.5	4.4
Na^+, Cl^-	125	4.1	BSA	25	0.9
Na^+, NO_3^-	50	–3.8	*L*-丙氨酸	1.25	4.5
Na^+, HCO_3^-	125	2.6	甘氨酸	25	4.7
Na^+, CO_3^{2-}	125	0.1	甲硫氨酸	8.4	0.6

a) 金纳米颗粒, 1.0×10^{-4} mol/L; Tris-HCl (10 mmol/L, pH 8.0); ATP, 4.0×10^{-5} mol/L

表 2　尿样中 ATP 的测定 [a)]

样品	测定值 /μmol·L^{-1}(n=3)	RSD (%) (n=3)	回收率(%) (n=3)	样品	测定值 /μmol·L^{-1}(n=3)	RSD (%) (n=3)	回收率(%) (n=3)
尿样 1/女	18.7, 18.9, 19.0	0.69	94.4	尿样 4/男	22.6, 22.5, 22.1	1.3	112
尿样 2/女	20.6, 20.6, 20.8	0.51	103	尿样 5/男	23.5, 22.8, 22.3	2.5	116
尿样 3/女	19.6, 19.1, 19.6	1.6	97.2	尿样 6/男	24.7, 24.1, 24.7	1.4	123

a) 金纳米颗粒, 1.0×10^{-4} mol/L; Tris-HCl (10 mmol/L, pH 8.0); ATP, 2.0×10^{-5} mol/L

μmol/L 范围内, 几种核苷酸分别与 AuNPs 作用后, 其表面等离子体共振吸收变化较小. 从分子结构来看, 一方面可能是由于 ATP 分子的磷酸根负电性比 ADP 和 AMP 更强, 另一方面可能是由于嘌呤环上环外氨基及 N7 原子比对应的 GTP, UTP, CTP 更活泼, 因而与 Au 的配位作用更强. 总体来说, 在测定的浓度范围内, 对 ATP 的测定不造成干扰.

考察了一些常见阴离子、氨基酸、蛋白质等共存物质对反应体系的影响, 结果列于表 1. 可以看出, 常见的阴离子如 Cl^-, HPO_4^{2-}和 HCO_3^-等在体系中允许存在浓度较大, 而部分蛋白质和氨基酸在体系中的允许量相对较低, 这可能是因为氨基酸和蛋白质比较容易吸附在 AuNPs 表面, 屏蔽其正电荷导致 AuNPs 聚集. 在实际应用中, 可以根据蛋白质和氨基酸的等电点来调节体系的 pH, 通过改变他们的表面电荷来减小其在金纳米颗粒表面的吸附, 以此减小对体系 ATP 测定的影响.

2.7　样品测定

为了考察方法的实用性, 采用标准加入法测定了正常人尿样中 ATP 的含量(表 2). 结果显示, 该方法的回收率在 94.4%~123%之间, 相对标准偏差 RSD 小于 2.5%.

3　结语

在弱碱性条件下, 基于 ATP 能选择性地诱导 CTAB 包被的金纳米颗粒聚集, 实现了 ATP 的含量检测. 该方法无需对金纳米颗粒进行修饰, 操作简单, 成本较低, 耗时较短, 选择性好, 对于实际样品中 ATP 含量的测定具有重大的意义.

参考文献

1　Wang J, Jiang Y X, Zhou C S, et al. Aptamer-based ATP assay using a luminescent light switching complex. Anal Chem, 2005, 77: 3542—3546

2　Pérez-Ruiz T, Martínez-Lozano C, Tomás V. Determination of ATP via the photochemical generation of hydrogen peroxide using flow injection luminol chemiluminescence detection. Anal Bioanal Chem, 2003, 377: 189—194

3　Chen S J, Huang Y F, Huang C C, et al. Colorimetric determination of urinary adenosine using aptamer-modified gold nanoparticles. Biosens Bioelectron, 2008, 23: 1749—1753

4　Jhaveri S D, Kirby R, Conrad R, et al. Designed signaling aptamers that transduce molecular recognition to changes in fluorescence intensity. J Am Chem Soc, 2000, 122: 2469—2473

5　Kamidate T, Yanashita K, Tani H, et al. Firefly bioluminescent assay of ATP in the presence of ATP extractant by using liposomes. Anal

Chem, 2006, 78: 337—342
6 Deng Q, German I, Buchanan D, et al. Retention and separation of adenosine and analogues by affinity chromatography with an aptamer stationary phase. Anal Chem, 2001, 73: 5415—5421
7 Tomiya N, Ailor E, Lawrence S M, et al. Determination of nucleotides and sugar nucleotides involved in protein glycosylation by high-performance anion-exchange chromatography: Sugar nucleotide contents in cultured insect cells and mammalian cells. Anal Biochem, 2001, 293:129—137
8 Huang Y F, Chang H T. Analysis of adenosine triphosphate and glutathione through gold nanoparticles assisted laser desorption/ionization mass spectrometry. Anal Chem, 2007, 79: 4852—4859
9 Li W, Nie Z, Xu X, et al. A sensitive, label free electrochemical aptasensor for ATP detection. Talanta, 2009, 78: 954—958
10 Daniel M C, Astruc D. Gold nanoparticles: Assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis, and nanotechnology. Chem Rev, 2004, 104: 293—346
11 Wang Z X, Ma L N. Gold nanoparticle probes. Coordin Chem Rev, 2009, 253: 1607—1618
12 Xu X W, Wang J, Jiao K, et al. Colorimetric detection of mercury ion (Hg^{2+}) based on DNA oligonucleotides and unmodified gold nanoparticles sensing system with a tunable detection range. Biosens Bioelectron, 2009, 24: 3153—3158
13 Yu C J, Cheng T L, Tseng W L. Effects of Mn^{2+} on oligonucleotide-gold nanoparticle hybrids for colorimetric sensing of Hg^{2+}: Improving colorimetric sensitivity and accelerating color change. Biosens Bioelectron, 2009, 25: 204—210
14 Wang X Y, Zou M J, Xu X, et al. Determination of human urinary kanamycin in one step using urea-enhanced surface plasmon resonance light-scattering of gold nanoparticles. Anal Bioanal Chem, 2009, 395: 2397—2403
15 Zhang Y F, Li B X, Chen X L. Simple and sensitive detection of dopamine in the presence of high concentration of ascorbic acid using gold nanoparticles as colorimetric probes. Microchim Acta, 2010, 168: 107—113
16 Chen Z, Luo S L, Liu C B, et al. Simple and sensitive colorimetric detection of cysteine based on ssDNA-stabilized gold nanoparticles. Anal Bioanal Chem, 2009, 395: 489—494
17 Zhang Z, Chen C L, Zhao X S. A simple and sensitive biosensor based on silver enhancement of aptamer-gold nanoparticle aggregation. Electroanal, 2009, 21: 1316—1320
18 Liu T, Zhao J, Zhang D M, et al. Novel method to detect DNA methylation using gold nanoparticles coupled with enzyme-linkage reactions. Anal Chem, 2010, 82: 229—233
19 Cao C, Sim S J. Signal enhancement of surface plasmon resonance immunoassay using enzyme precipitation-functionalized gold nanoparticles: A femto molar level measurement of anti-glutamic acid decarboxylase antibody. Biosens Bioelectron, 2007, 22: 1874—1880
20 Huang Y F, Lin Y W, Lin Z H, et al. Aptamer-modified gold nanoparticles for targeting breast cancer cells through light scattering. J Nanopart Res, 2009, 11: 775—783
21 Liu J W, Lu Y. Fast Colorimetric sensing of adenosine and cocaine based on a general sensor design involving aptamers and nanoparticles. Angew Chem Int Ed, 2006, 45: 90—94
22 Zhao W A, Chiuman W, Brook M A, et al. Simple and rapid colorimetric biosensors based on DNA aptamer and noncrosslinking gold nanoparticle aggregation. ChemBioChem, 2007, 8: 727—731
23 Li C M, Li Y F, Wang J, et al. Optical investigations on ATP-induced aggregation of positive-charged gold nanoparticles. Talanta, 2010, 81: 1339—1345
24 Wang J, Li Y F, Huang C Z, et al. Rapid and selective detection of cysteine based on its induced aggregates of cetyltrimethylammonium bromide capped gold nanoparticles. Anal Chim Acta, 2008, 626: 37—43
25 Sau T K, Murphy C J. Room temperature, high-yield synthesis of multiple shapes of gold nanoparticles in aqueous solution. J Am Chem Soc, 2004, 126: 8648—8649
26 Liu J W, Lu Y. A colorimetric lead biosensor using DNAzyme-directed assembly of gold nanoparticles. J Am Chem Soc, 2003, 125: 6642—6643
27 贺薇, 李原芳, 谭克俊, 等. 金纳米棒与肝素相互作用的表征及肝素的等离子共振光散射分析法. 科学通报, 2007, 52: 2840—2845
28 Kimura-Suda H, Petrovykh D Y, Tarlov M J, et al. Base-dependent competitive adsorption of single-stranded DNA on gold. J Am Chem Soc, 2003, 125: 9014—9015
29 Östblom M, Liedberg B, Demers L M, et al. On the structure and desorption dynamics of DNA bases adsorbed on gold: A temperature-programmed study. J Phys Chem B, 2005, 109: 15150—15160
30 蒋治良, 冯忠伟, 李廷盛, 等. 金纳米粒子的共振散射光谱. 中国科学 B 辑: 化学, 2001, 31: 183—188
31 Liu Z D, Huang C Z, Li Y F, et al. Enhanced plasmon resonance light scattering signals of colloidal gold resulted from its interactions with organic small molecules using captopril as an example. Anal Chim Acta, 2006, 577: 244—249

Plasmon resonance determination of ATP on the basis of its coordination with the surface of positive-charged gold nanoparticles

LI ChunMei[1], LI YuanFang[1], WANG Jian[1] & HUANG ChengZhi[1,2]

[1]*Education Ministry Key Laboratory on Luminescence and Real-Time Analysis, College of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China;*
[2]*College of Pharmaceutical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China*

It was found adenosine triphosphate (ATP) could induce the aggregation of cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) capped gold nanoparticles (AuNPs) in Tris-HCl buffer pH 8.0, which caused the changes of surface plasma resonance absorption and resonance light scattering. Scanning electron microscopy (SEM), dynamic light scattering (DLS) and ζ-potential have been used to characterize the aggregation of AuNPs, and how ATP molecule combine with AuNPs has been discussed. With the changes of surface plasmon resonance absorption of AuNPs, a new method for the determination of ATP has been developed in linear range of 4.0–80 μmol/L, with the detection limit of 0.82 μmol/L. It was found that ADP, AMP, UTP, CTP, GTP had no interfering effects in the determination. The method could be applied for the determination of ATP in urine samples with the recovery between 94.4% and 123%, and R.S.D. less than 2.5%. Comparing with other methods, the proposed method reported here is simple, rapid, and highly selective.

gold nanoparticles, cetyltrimethylammonium bromide, adenosine triphosphate, plasmon resonance absorption

doi: 10.1360/972010-714