

文章编号: 0253-2239(2008)06-1155-06

带 -NH₂ 的嘧啶环对钌配合物与 DNA 相互作用的瞬态发光特性的影响

朱伟玲^{1,2} 刘学文^{3,4} 王 惠^{2*} 于会娟⁴ 巢 晖^{2,4} 郑康成⁴ 计亮年^{2,4}

(¹ 茂名学院物理系, 广东 茂名 525000; ² 中山大学光电材料与技术国家重点实验室, 广东 广州 510275)
(³ 湖南文理学院化学化工系, 湖南 常德 415000; ⁴ 中山大学化学与化学工程学院, 广东 广州 510275)

摘要 采用时间分辨的发光光谱技术, 分别测量了两种新合成的钌配合物 [Ru(bpy)₂(dppbd(NH₂)₂)]²⁺ 和 [Ru(phen)₂(dppbd(NH₂)₂)]²⁺ 与小牛胸腺脱氧核糖核酸(ctDNA)相互作用时的瞬态发光动力学过程, 并与以往对 [Ru(phen)₂dppz]²⁺ 等的研究结果进行对比, 从而研究带 -NH₂ 的嘧啶环对配合物与 DNA 作用动力学过程的影响。结果表明: 这两种含有带 -NH₂ 的嘧啶环的钌配合物与 DNA 相互作用时的发光按双指数规律衰减, 发光寿命为几十纳秒, 比 dppz 类钌配合物与 DNA 作用时的发光衰变寿命(几百纳秒)小一个数量级。归因于嘧啶环上的 N 和 -NH₂ 可能与水分子、DNA 的碱基对或磷酸骨架形成氢键, 从而加快激发态的无辐射弛豫, 削弱发射光强, 缩短发光寿命。该结论为进一步研究配合物分子与 DNA 的相互作用的机理提供了一定的依据。

关键词 超快激光与光电子学; 瞬态发光; 时间分辨光谱术; 钌配合物; DNA

中图分类号 O482.31 文献标识码 A

Effects of Pyrimidine Ring with -NH₂ on Transient Luminescence Properties in Ruthenium Complexes Bonding to DNA

Zhu Weiling^{1,2} Liu Xuewen^{3,4} Wang Hui² Yu Huijuan⁴ Chao Hui^{2,4}
Zheng Kangcheng⁴ Ji Liangnian^{2,4}

¹ Department of Physics, Maoming College, Maoming, Guangdong 525000, China

² State Key Laboratory of Optoelectronics materials and Technologies, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong, 510275, China

³ Department of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan University of Arts and Science, Changde, Hunan 415000, China

⁴ School of Chemical and Chemical Engineering of Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong, 510275, China

Abstract To study the effects of the pyrimidine ring with -NH₂ on transient luminescence properties in ruthenium complexes bonding to DNA, transient luminescence dynamics process of two ruthenium complexes [Ru(bpy)₂(dppbd(NH₂)₂)]²⁺ and [Ru(phen)₂(dppbd(NH₂)₂)]²⁺ bonding to calf thymus DNA(ctDNA) have been studied by using time-resolved spectroscopy, and the results are compared with results in previous researches. Two complexes both show biexponential decay in emission on bonding to DNA, and the luminescence lifetime is within tens of nanoseconds, about ten times shorter than the luminescence lifetime (several hundreds nanoseconds) of dppz-kind ruthenium complexes. It is attributed to that the hydrogen-bonds may form between N or -NH₂ of pyrimidine ring and water molecule, base pairs or phosphoric skeleton. The hydrogen-bonds can quicken the nonradiative decay of the excited state, weaken the luminescence intensity, and shorten the luminescence lifetime. The conclusion offers an argument to study the interaction mechanism for the complex bonding to DNA.

Key words ultrafast laser and photoelectronics; transient luminescence; time-resolved spectroscopy; Ru complex; DNA

收稿日期: 2007-08-14; 收到修改稿日期: 2007-12-14

基金项目: 国家 973 计划(2007C6815306)、国家自然科学基金(60478013, 20571089)、广东省自然科学基金(05101819)和茂名学院科研基金(203346)资助课题。

作者简介: 朱伟玲(1965-), 女, 副教授, 主要从事有机和聚合物超快光电子动力学和光器件等方面的研究。

E-mail: mmzhuweiling@163.com

* 通信联系人。E-mail: stsw@mail.sysu.edu.cn

1 引 言

钌多吡啶配合物与 DNA 键合时,具有明显的几何结构和电结构的选择性,因而在 DNA 结构探针、DNA 分子光开关、DNA 断裂试剂、抗癌药等方面具有十分重要的应用,成为生物、化学、物理等多学科交叉研究领域十分活跃的前沿课题^[1~10]。

配合物 $[\text{Ru}(\text{L})_2\text{dppz}]^{2+}$ (联合配体 $\text{L} = \text{bpy}$, phen , $\text{bpy} = 2, 2'$ -联吡啶, $\text{phen} = 1, 10$ -邻菲咯啉, 主配体 dppz 是联吡啶并[3,2-a:2',3'-c]吩嗪)在水溶液中没有发光,当加入 DNA 后产生相对于作用前 10^4 倍以上的发光,因此它们可作为 DNA 的分子光开关^[3,4]。对于 $[\text{Ru}(\text{L})_2(\text{dppz})]^{2+}$ 的一些衍生物,由于插入配体上增加了一些取代基,对吡嗪环上的两个氮原子有一定的保护作用,所以衍生物在水中便有一定的发光,使得衍生物与 DNA 作用时的发光增强倍数较小(几百倍之内),从而失去光开关的特点^[4, 11~13]。

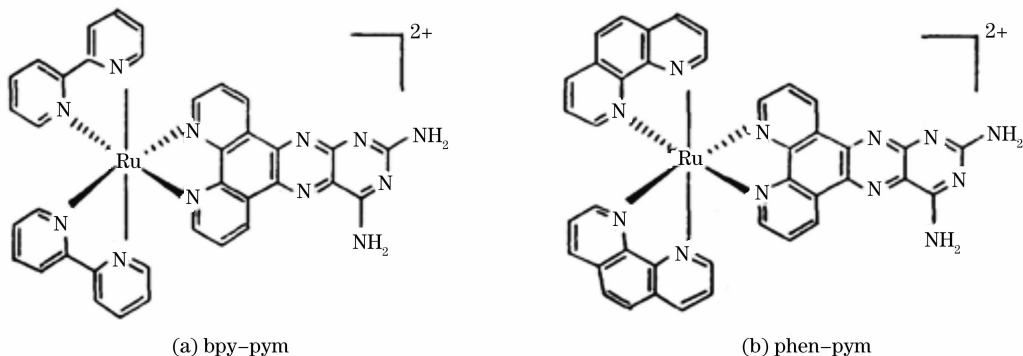


图 1 两种含有带 $-\text{NH}_2$ 的嘧啶环的钌配合物的分子结构

Fig. 1 Molecular structure for the ruthenium complexes (a) bpy-pym, (b) phen-pym, introducing pyrimidine ring with $-\text{NH}_2$ to the insertional ligand

从图 1 可见,主配体 pym 中引入了带 $-\text{NH}_2$ 的嘧啶环,具有较大的空间位阻,而且由于存在多个 $-\text{N}$ 和 $-\text{NH}_2$,所以主配体 pym 较容易与水或 DNA 成氢键。

实验所采用的 DNA 为小牛胸腺 DNA (calf thymus DNA),在室温下的水溶液中进行,分别测量了两种配合物与 DNA 作用前后的紫外-可见光吸收谱、稳态发光光谱、时间分辨发光动力学过程。

电子吸收光谱由美国 Perkin Elmer (PE) 公司生产的 Perkin Elmer Lambda850 型紫外分光光度计记录。稳态发光光谱用日本岛津公司生产的 RF-5301PC 型发光分光光度计进行测量。瞬态发光动力学过程在英国 Edinburgh 公司生产的 FLS920 组合式发光寿命与稳态发光光谱仪上进行测量。其中

为了进一步研究配体结构对配合物与 DNA 作用动力学过程的影响,本文选取了新合成的两种带 $-\text{NH}_2$ 的嘧啶环的钌配合物为研究对象,采用时间分辨的发光光谱技术测量了这两种钌配合物与 DNA 作用的瞬态发光动力学过程,并对两种钌配合物的衰减结果与以往的研究结果进行了对比分析,讨论了发光强度及寿命存在差别的可能原因。从而考察取代基的氢键效应对配合物分子与 DNA 的相互作用,以及对发光效率及发光寿命所产生的影响。

2 实验与分析

2.1 实验条件

实验所用的两种配合物为: $[\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{dppbd}(\text{NH}_2)_2)]^{2+}$ (简记为 bpy-pym); $[\text{Ru}(\text{phen})_2(\text{dppbd}(\text{NH}_2)_2)]^{2+}$ (简记为 phen-pym)。两种配合物的分子结构式如图 1 所示。

FLS920 组合系统的光源是一台半导体激光器,主要性能指标为:峰值功率 122 mW,输出波长 401 nm,脉冲宽度 63 ps,重复频率 500 kHz;单色仪 (Czerny-Turer) 的主要性能指标为:焦距 300 mm,色散 1.8 nm/mm,分辨率 0.05 nm/18 nm;检测器是蓝敏 (R1527) 型光子计数器,其光谱范围 200~680 nm,暗电流最大值 100 cps (24 °C)。

2.2 结果与分析

2.2.1 吸收光谱

两种配合物与过量的 DNA 作用前后的紫外-可见光吸收谱如图 2 所示。图中细线为加入 DNA 之前的配合物的吸收谱,粗线为加入过量的 DNA 之后的配合物吸收谱。其中, bpy-pym 与 phen-pym 在 440 nm 附近的吸收峰对应于金属(钌)→配体

($d \rightarrow \pi^*$)电荷转移(MLCT), 280 nm附近或260 nm所出现的吸收峰, 可归属为配体中的 $\pi \rightarrow \pi^*$ 跃迁^[14]。与过量的DNA作用后, 各个吸收峰均出现了一定程度的下降, 即减色效应。同时, 吸收峰也出

现了微小的红移。由于减色与红移通常被认为是插入作用的标志^[15], 因此, 可认为本实验所用的钌配合物均插入DNA中。

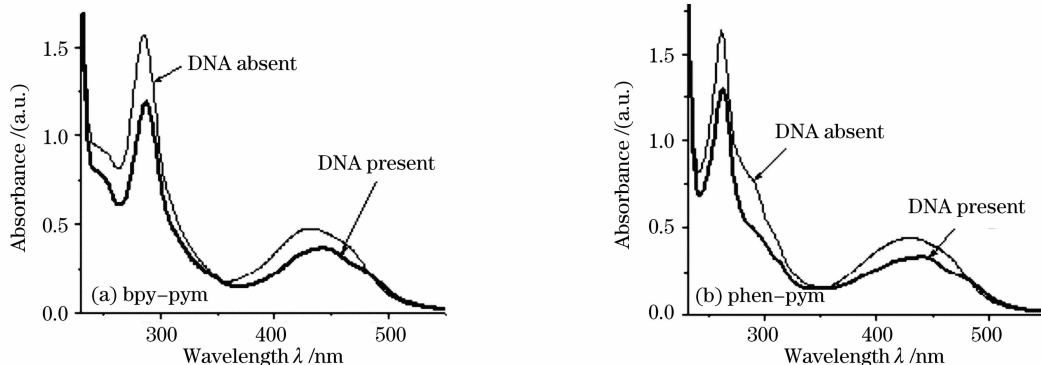


图2 两种钌配合物与过量的DNA作用前后的吸收光谱

Fig. 2 Absorption spectra for (a) bpy-pym, (b) phen-pym in the absence and presence of excessive DNA

2.2.2 稳态发光光谱

采用450 nm为激发波长(位于两种样品的MLCT吸收峰440 nm附近), 在相同的激发光强作用下测量了两种样品与过量的DNA相互作用前后的稳态发光光谱, 如图3所示, 图中内插图是未加入DNA时, 配合物在辐射峰附近(550~650 nm)的光谱放大图, 这时配合物发光非常弱, 这与源配合物

[Ru(L)₂dppz]²⁺在水溶液中观察结果类似^[3,4]。当加入DNA后, 两种配合物的发光强度都得到一定的增加。bpy-pym和phen-pym在辐射峰处的增强倍数分别为20.6和73.8。与[Ru(L)₂dppz]²⁺的10⁴倍以上的光开关效应相比, 两种配合物与DNA作用时的发光增强较小。

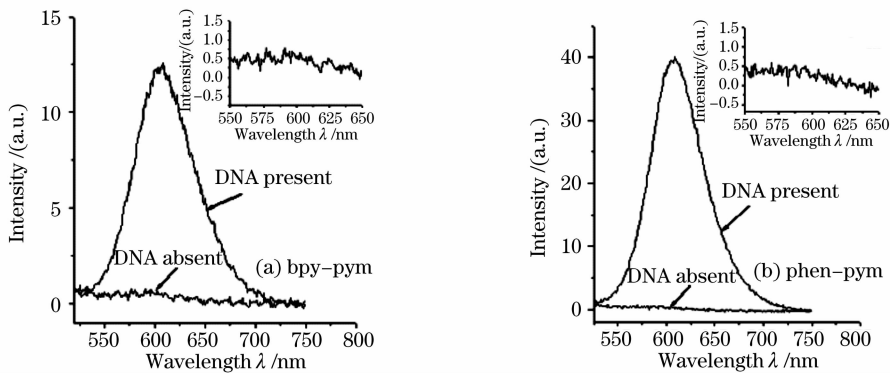


图3 两种钌配合物与过量的DNA作用前后的稳态发射光谱(激发光波长450 nm), 内插图是加入DNA之前配合物发射峰附近(550~650 nm)的放大图

Fig. 3 Steady-state emission spectra for (a) bpy-pym, (b) phen-pym in the absence and presence of excessive DNA under the same excitation at 450 nm. The insets are the emission spectra near the peak (550~650 nm) for the complexes in the absence of DNA

2.2.3 瞬态发光动力学过程

在激发光波长为401 nm(位于四种钌配合物的MLCT吸收带之内)下, 记录加入DNA前后配合物在发光峰值波长处的发光弛豫过程。

未加入DNA时, 配合物发光极弱(见图3), 发光寿命很短, 本文的实验系统(分辨极限约为几纳秒)未能测出, 这与源配合物[Ru(L)₂dppz]²⁺在水

溶液中观察不到纳秒发光的结果类似^[3,4]。采用频率上转换系统^[16]可望能观测该超快发光, 相关工作正在进行中。本文主要是考察加入DNA之后的发光动力学, 与源配合物[Ru(L)₂dppz]²⁺的发光(也是加入DNA之后)进行对比, 从而考察带NH₂嘧啶环对配合物与DNA作用动力学过程的影响。

加入DNA时(其中配合物与DNA摩尔浓度比

为 1:20), 发射谱峰值波长处的发光弛豫过程如图 4 所示, 同时测量实验条件下的仪器响应函数曲线 (IRF, FWHM \approx 4.0 ns)。

实时的发光衰减函数 $H(t)$ 是真实的发光衰减函数 $F(t) = \sum A_i \exp(-t_i/\tau_i)$ 与仪器响应函数 $G(t)$ 的卷积:

$$H(t) = F(t) * G(t) = \int_0^t G(t')F(t-t')dt'$$

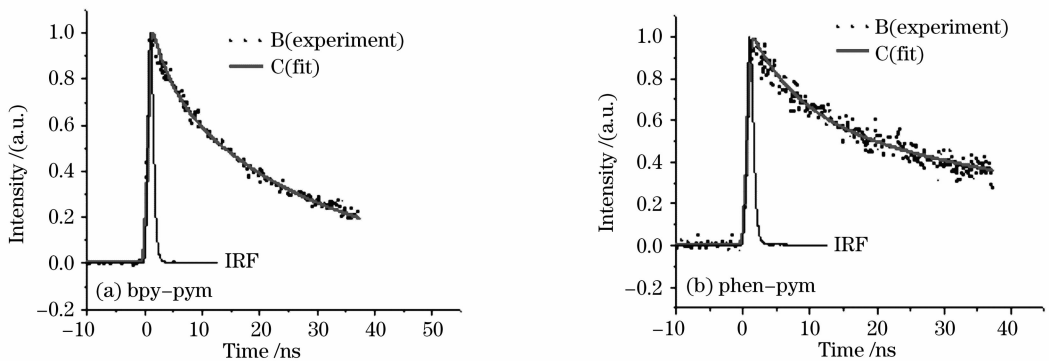


图 4 两种钌配合物与 DNA 作用后的发光弛豫过程(激发光波长 401 nm, 配合物与碱基对的摩尔浓度比为 1:20)
Fig. 4 Emission decay dynamics for (a) bpy-pym, (b) phen-pym bonding to DNA monitored at the wavelength of luminescence peak for excitation at 401 nm. The molar concentration ratio between complexes and base pairs is 1:20

表 1 两种钌配合物与 DNA 作用时的发光弛豫参量

Table 1 Emission decay dynamics parameters for the two Ru complexes bonding to DNA

Sample	Wavelength /nm	τ_1 /ns, (A_1)	τ_2 /ns, (A_2)	τ_{ic1} /ns	τ_{ic2} /ns
bpy-pym	606	3.03 (24%)	25.2 (76%)	3.03	25.2
phen-pym	607	7.29 (41%)	64.0 (59%)	7.29	64.0

由图 4 和表 1 可以看出: 两种配合物与 DNA 作用时的瞬态发光衰变是由一个快过程 τ_1 和一个慢过程 τ_2 组成, 说明这两种配合物与 DNA 作用时存在两种插入作用模式^[4]。快过程对应于配合物与 DNA 之间的侧面插入作用方式, 两个吩嗪氮原子中一个受保护, 一个暴露。慢过程则对应于垂直插入作用方式, 两个吩嗪氮原子均受到保护。两种 $[\text{Ru}(\text{L})_2(\text{dpbd}(\text{NH}_2)_2)]^{2+}$ 配合物与 DNA 作用时的发光寿命在几十纳秒之内, 比 $[\text{Ru}(\text{L})_2(\text{dppz})]^{2+}$ 类配合物与 DNA 作用时的发光衰变寿命(几百纳秒)短^[4]。

图 5 是钌配合物的能级结构与光激发能级跃迁示意图^[18]。其中 S_0 为基态, S_N 为金属到配体电荷转移单重态 ($^1\text{MLCT}$ 态), MLCT' 为金属到配体电荷转移三重态 ($^3\text{MLCT}$ 态), 为辐射三重态, MLCT'' 为另一个 $^3\text{MLCT}$ 态, 为非辐射三重态, 其性质强烈依赖于周围的环境(如溶剂等)^[17, 18], 同时与配合物的结构有关。我们所观测到的钌配合物的辐射过

程, 主要是 MLCT' 到基态 S_0 之间的跃迁。

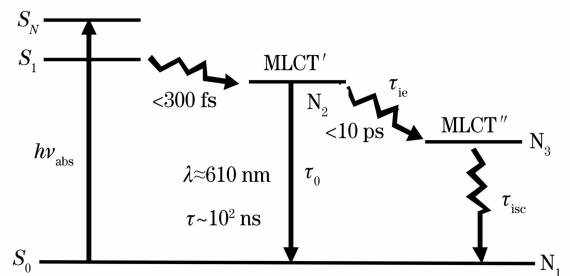


图 5 钌配合物的能级结构与光激发能级跃迁
Fig. 5 Energy level and transition under excitation of Ruthenium complexes

室温下, 钌多吡啶配合物在水中以插入方式与 DNA 相互作用时, 自发辐射跃迁时间常量 τ_0 应与其在非水溶剂中的辐射寿命近似相等, 数值^[18, 19]取 $\tau_0 \approx 2 \times 10^4$ ns。实验测得的发光寿命 τ 小于 10^2 ns 量级, 由 $\tau = (1/\tau_0 + 1/\tau_{ic})^{-1}$ 可知, 无辐射跃迁的时间常量 τ_{ic} 与实验所测量的发光寿命(较为接近(见表 1))。意味着实验中测量出的寿命(τ_1, τ_2)主要由

无辐射跃迁过程决定。而无辐射跃迁主要由 MLCT''态的性质决定。MLCT''态的性质则与两方面因素有关:一是插入配体上原子(如吩嗪氮)与水分子的氢键作用;二是插入配体与 DNA 的作用(如插入配体与碱基对的堆积作用,或与碱基对、磷酸骨架间的氢键作用等)^[20]。

两种[Ru(L)₂(dpbpd(NH₂)₂)]²⁺的插入配体含有四个氮原子,以及两个-NH₂。一方面,插入配体具有较大的空间位阻,对插入作用产生了阻碍作用,使得插入配体上氮原子暴露于水中,并与水分子形成氢键而耗费激发态能量,同时插入到 DNA 中的氮原子又可能与 DNA 的碱基对或磷酸骨架形成氢键而耗能,这样,两种[Ru(L)₂(dpbpd(NH₂)₂)]²⁺配合物的无辐射跃迁时间常数(τ_{ic1}, τ_{ic2})较小。从而导致两种[Ru(L)₂(dpbpd(NH₂)₂)]²⁺配合物与 DNA 作用时的发光寿命(τ₁, τ₂)比[Ru(L)₂(dppz)]²⁺类配合物与 DNA 作用时的发光寿命短。

至此,我们亦可理解,未加入 DNA 时,两种配合物的发光极弱,衰减极快是由于插入配体的吡嗪环和嘧啶环上的氮原子与水分子的氢键作用,导致处于 MLCT' 态上的分子通过的无辐射跃迁(MLCT'→MLCT''→S₀)快速弛豫到基态 S₀,因而观察不到纳秒发光。

另外,bpy-pym 和 phen-pym 相比,前者的发光强度小,寿命短,主要是由于辅助配体 phen 比 bpy 的平面面积大,疏水性强^[21],对吩嗪氮的保护较好的缘故。

3 结 论

采用时间分辨的发光光谱技术,通过实验和理论分析相结合的办法,研究了两种新合成的钌配合物[Ru(bpy)₂(dpbpd(NH₂)₂)]²⁺和[Ru(phen)₂(dpbpd(NH₂)₂)]²⁺与 DNA 相互作用的瞬态发光特性,并与以往的研究结果进行了对比。结果表明,两种钌配合物与 DNA 相互作用时的发光按双指数规律衰减,发光寿命比 dppz 类的发光寿命短。在一定的溶剂环境和 DNA 条件下,在插入配体上引入带有-NH₂的嘧啶环,可能与水分子、DNA 的碱基对或磷酸骨架形成氢键,从而加快激发态的无辐射弛豫,削弱发射光强,缩短发光寿命。进一步的研究可望透彻掌握配合物的结构和取代基对配合物与 DNA 相互作用的瞬态发光特性的影响。

参 考 文 献

- Barton J K, Danishefsky A T, Goldberg J M. Tris (phenanthroline) ruthenium (II): Stereoselectivity in binding to DNA[J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 1984, **106**(7): 2172~2176
- Fleisher M B, Waterman K C, Turro N J *et al.*. Light-induced cleavage of DNA by metal complexes[J]. *Inorg. Chem.*, 1986, **25**(20): 3549~3551
- Friedman A E, Chambron J C, Sauvage J P *et al.*. Molecular "Light Switch" for DNA; Ru (bpy)₂ (dppz)²⁺ [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 1990, **112**(12): 4960~4962
- Hartshorn R M, Barton J K. Novel dipyrrophenazine complexes of ruthenium (II): exploring luminescent reporters of DNA[J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 1992, **114**(15): 5919~5925
- Dupureur C M, Barton J K. Use of selective deuteration and ¹H NMR in of demonstrating major Groove binding (-[Ru(phen)₂dppz]²⁺ to d(GTCGAC)₂ [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 1994, **116**(22): 10286~10287
- Olson E J C, Hu D, Hönnann A *et al.*. Quantitative modeling of DNA-mediated electron transfer between metallointercalators[J]. *J. Phys. Chem.*, 1997, **101**(3): 299~303
- Arkin M R, Stemp E D A, Holmlin R E *et al.*. Rates of DNA-mediated electron transfer between metallointercalators [J]. *Science*, 1996, **273**: 475~480
- Dandliker P J, Holmlin R E, Barton J K. Oxidative thymine dimer repair in the DNA helix[J]. *Science*, 1997, **275**: 1465~1468
- Ji Liangnian, Zhang Qianling, Liu Jinggang. Development of the study on the structure, structural representation, interaction mechanism and biologic function of DNA in biomedicine [J]. *Science in China (Series B)*, 2001, **31**(3): 193~204
计亮年, 张黔玲, 刘劲刚. 生物医学中 DNA 的结构、构象、作用机制及其生物功能的研究进展 [J]. *中国科学(B辑)*, 2001, **31**(3): 193~204
- Lincoln P, Norden B. DNA binding geometries of ruthenium (II) complexes with 1, 10-phenanthroline and 2, 2'-bipyridine ligands studied with linear dichroism spectroscopy. borderline cases of intercalation [J]. *J. Phys. Chem. B*, 1998, **102**(47): 9583~9594
- Komatsuzaki N, Katoh R, Himeda Y *et al.*. Structure and photochemical properties of ruthenium complexes having dimethyl-substituted DPPZ or TPPHZ as a ligand [J]. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 2000. 3053~3054
- Maheswari P U, Rajendiran V, Palaniandavar M *et al.*. Synthesis, characterization and DNA-binding properties of rac-[Ru(5,6-dmp)₂(dppz)]²⁺-enantiopreferential DNA binding and co-ligand promoted exciton coupling [J]. *J. Inorganic Biochemistry*, 2006, **100**: 3~17
- Shen Han, Yu Huijuan, Zhu Weiling *et al.*. Study on ultrafast dynamics of luminescence enhancement in a [DNA and Ru] complex [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7): 1333~1337
沈 涵, 于会娟, 朱伟玲 等. 一种钌配合物与 DNA 相互作用用发光增强的超快过程研究 [J]. *光学学报*, 2007, **27**(7): 1333~1337
- Ling Liansheng, Yang Xi, He Zhike *et al.*. Spectral studies on the interaction of DNA and Ru (bipy)₂ (dppz)²⁺ [J]. *J. Analytical Science*, 2001, **17**(1): 11~15
凌连生, 杨 洗, 何治柯 等. Ru(bipy)₂(dppz)²⁺与 DNA 相互作用的光谱研究 [J]. *分析科学学报*, 2001, **17**(1): 11~15
- Tysoe S A, Morgan R J, Baker A D *et al.*. Spectroscopic investigation of differential binding modes of Δ- and Λ-[Ru (bpy)₂(dppz)]²⁺ with calf thymus DNA [J]. *J. Phys. Chem.*, 1993, **97**(8): 1707~1711

- 16 Wang Hui, K. S. Wong. Femtosecond study of luminescence dynamics of two kinds of polydiacetylene derivatives[J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(3): 360~363
王 惠, K. S. Wong. 两种可溶性聚乙炔衍生物的飞秒发光动力学研究[J]. *光学学报*, 1999, **19**(3): 360~363
- 17 Zhao Fuli, Zheng Xiguang, Wang Hezhou *et al.*. Study on the time-resolved fluorescence spectroscopy of four kinds of allophycocyanin in trimers[J]. *Chin. J. Lasers*, 1998, **A25**(4): 318~322
赵福利, 郑锡光, 汪河洲 等. 四种别藻蓝蛋白三聚体的时间分辨发光光谱研究[J]. *中国激光*, 1998, **A25**(4): 318~322
- 18 Olson E J C, Hu D, Hörmann A *et al.*. First observation of the key intermediate in the "Light-Switch" mechanism of [Ru(phen)₂dppz]²⁺ [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 1997, **119**(47): 11458~11467
- 19 Nair R B, Cullum B M, Murphy C J. Optical properties of [Ru(phen)₂dppz]²⁺ as a function of nonaqueous environment [J]. *Inorg. Chem.*, 1997, **36**(6): 962~965
- 20 Turro C, Bossmann S H, Jenkins Y *et al.*. Proton transfer quenching of the MLCT excited state of [Ru(phen)₂dppz]²⁺ in homogeneous solution and bound to DNA [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 1995, **117**(35): 9026~9032
- 21 Deng Hong, Li Hong, Xu Hong *et al.*. Influence of ligand configuration and hydrophobicity on DNA binding of polypyridyl ruthenium (II) complexes [J]. *Acta Chimica Sinica*, 2002, **60**(12): 2159~2166
邓 洪, 李 红, 徐 宏 等. 配体的空间构型及疏水性对钌(II)多吡啶配合物与 DNA 作用的影响 [J]. *化学学报*, 2002, **60**(12): 2159~2166

Chinese Optics Letters (《中国光学快报》)“生物光子学”专题 征 稿 启 事

光学技术给生物医学成像、传感以及诊断学领域带来了重大变革,并产生了巨大影响。例如,内窥式激光共聚焦显微镜、光学相干层析技术(OCT)等光学成像技术为生物组织提供了高分辨率的三维影像;而各种光学传感技术也被应用于生物医学中提供高灵敏度的痕量气体分析和化学分析。*Chinese Optics Letters* (《中国光学快报》)计划于2008年12月推出“生物光子学”专题栏目,现特向国内外广大读者以及作者征集“生物光子学”方面原创性的研究论文,旨在集中反映该领域基础理论的研究进展以及最先进的临床试验水平。

征稿范围包括:

- Optical imaging techniques
- Non-invasive optical diagnostics
- Laser tissue treatment
- Optical bio-sensors
- Optical biomedical instrumentation
- Other

Feature Editor:

Jin U. Kang

Department of Electrical and Computer Engineering, Johns Hopkins University

截稿日期:2008年9月15日

投稿方式以及格式:可直接将稿件电子版发至邮箱:col@mail.shnc.ac.cn(主题标明“生物光子学专题投稿”),或通过网上投稿系统直接上传稿件(投稿类型选择 focus issue submission),详情请参见《中国光学快报》网站:<http://www.col.org.cn>。投稿必须是英文稿,其电子版请使用 Latex 或者 MS-Word 格式。有任何问题请发邮件至 col@mail.shnc.ac.cn 询问。