

研发光散射探针拓展光谱手性识别的研究进展

杨季冬^{1,2,3*}, 谭选平¹, 杨琼³, 周尚³

(1. 西南大学化学化工学院, 重庆 400715; 2. 重庆三峡学院化学与环境工程学院, 重庆 404100;
3. 长江师范学院化学化工学院, 重庆 408100)

摘 要: 手性对映体主导着自然的奇妙和生命的奥秘。生命组织中的手性环境能自然开启手性识别和激活手性, 而人为介入的手性识别需要高灵敏度和高选择性相结合的分析手段。共振瑞利散射(RRS)光谱是一种高灵敏度且简便易行的分析方法, 以有机染料、纳米粒子或量子点等作为光散射探针结合高灵敏度的 RRS 光谱, 不仅能增强光散射, 提高灵敏度, 还能有效提高共振光散射光谱的选择性。而探索合成羟基氨基喹啉类衍生物手性光散射探针试剂与 RRS 相结合的手性识别则是一项创新工作。须确定羟基氨基喹啉类衍生物手性光散射探针试剂的作用机制以及分类筛选的应用研究, 发展以手性光散射探针试剂为主导的识别手性对映体的 RRS 光谱分析, 进一步拓展确立不经分离而同时测定手性对映体的新分析方法研究。

关键词: 手性识别; 光谱分析; 共振瑞利散射(RRS); 光散射探针

Research progress of spectral chiral recognition by development of light scattering probe

YANG Ji-Dong^{1,2,3*}, TAN Xuan-Ping¹, YANG Qiong³, ZHOU Shang³

(1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. School of Chemistry and Environment Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404100, China;
3. School of Chemistry and Chemical Engineering Yangtze Normal University, Chongqing 408100, China)

ABSTRACT: Chiral enantiomers dominated natural wonders and the mysteries of life. Only the chiral environment in life organization could open up the chiral recognition and activation of the chirality naturally but human intervention in the chiral recognition by the special analytical means of combining high sensitivity and high selectivity. Resonance rayleigh scattering (RRS) spectrum is a kind of high sensitivity and simple analysis method, and the RRS spectra with high sensitivity had the organic dyes, nanoparticles or quantum dots for light scattering probe reagent, not only enhanced its light scattering, improved the sensitivity, could also effectively improve its selectivity. To explore the synthesize of hydroxyl, amino quinoline derivatives for chiral light scattering probe reagent to combine with RRS for chiral recognition is an innovative work, to confirm the mechanism of hydroxyl, amino quinoline derivatives for chiral light scattering probe reagent and to develop the new method of RRS spectral analysis dominated by chiral light scattering probe reagent of organic enantiomers in chiral recognition, further to establish a new analysis method for simultaneously determination of chiral enantiomers without separation firstly.

基金项目: 国家自然科学基金项目(21175015, 21475014)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (21175015, 21475014)

*通讯作者: 杨季冬, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为分子光谱分析。E-mail: sxyjd7600@sina.com

*Corresponding author: YANG Ji-Dong, Professor, School of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China. E-mail: sxyjd7600@sina.com

KEY WORDS: chiral recognition; spectral analysis; resonance rayleigh scattering; light scattering probe reagent

1 引言

自然界广泛存在手性(chirality), 而手性对映体(chiral enantiomers)无论是人工的或是天然的, 在自然环境中扮演着的奇妙角色, 主导着生命体的奥秘。人类要进一步认知大自然, 就要不断探索这些手性对映体相对存量与性能、活性与作用、迁移与归宿。探索需要分析测量与表征, 是非常诱人的分析课题, 尤其是不经分离而同时测定手性对映体是非常紧迫的前沿研究课题^[1]。据报道目前全球市场销售与临床使用药物中手性药物占了 56.4%, 其中外消旋手性对映体药物(racemize chiral enantiomers drugs)又占了 45.5%以上^[2]。而当今市场上销售的食物、保健品也包含手性咖啡、旋光性肉碱之类的产品。这些共存的手性对映异构体物质, 其相对应的生物活性具有显著差别, 在生命体中不仅对靶标的生物效应具有显著差异, 对非靶标的环境行为也迥然不同^[3]。早在上世纪九十年代美国 FDA 等国家的药政管理组织已明确规定^[4], 要求申报手性药物时, 必须对不同异构体的生理和毒理以及各占比例提供清楚的报告。因此, 对外消旋手性对映体药物的分离分析和测定表征一直受到分析学家们的关注, 这方面的研究工作虽已取得很大的进展, 但仍有许多值得深究和可观的发展前景^[5]。如何检测外消旋对映异构体的存在并表征其不同的生物活性, 或检测手性对映异构体药物或农药的光学纯度, 尤其是不经分离而同时测定手性对映异构体药物, 对生产质控、用药安全和进一步的药理研究将有更重要的意义。由于手性物质具有旋光性等特异光学性能, 再结合光谱分析方法, 大量研究表明建立简捷快速的、高灵敏度和高选择性的手性识别的光谱分析方法是大有可为的^[6]。

2 手性识别的研究意义

手性对映体的生物活性决定着自然选择, 组成蛋白质的天然氨基酸都是 *L*-构型, 而天然的糖类则大多数为 *D*-构型, DNA 的螺旋构型都是右旋, 人们还发现海螺的螺纹和缠绕植物也都是右旋的。在它们的作用过程中具有很强的立体专一性, 有很强的镜像对称规律。在自然环境中唯有对应的手性环境才是开启手性识别和手性激活的关键钥匙, 如人工合成的 *D*-构型氨基酸会有什么样的性质和生理活性? 由这样的氨基酸组成的多肽和蛋白质有什么样的生理作用? 人工合成的 *L*-构型的糖类又会有什么不同的性能? 所有这些问题的探索和进展, 无疑将为从分子水平上揭开生命中的种种奥秘铺筑道路。而对于无论天然的或人工合成的手性药物, 均存在相当部分的外消旋对映异构体, 这些对映异构体的性能和药理药效的差异有待逐渐为人们

所认识。不同的手性药物具有不同的药效和毒副作用, 唯有在生命体中的受体如酶、核酸、蛋白质和多糖等构成的手性结构能够选择性激活它的生物活性。手性农药的对映异构体具有不同的生物活性(杀虫、除草、杀菌活性等), 同时对映异构体间还存在毒性、降解或代谢及残留等不同的环境行为, 同样是在手性环境中才能发挥出不同的功效。因此人为介入手性物质的分离分析必须有高灵敏度和高选择性结合的手段, 分析化学界一直致力于探索分离分析手性对映体药物的新原理、新技术和新方法。目前常用的分离分析手性对映体的技术手段是色谱法(GC&LC), 毛细管电泳法(CE)和超临界流体色谱法(SFC)^[7-9], 以及利用扫描探针技术(STM)和原子力显微技术(AFM)实现手性分子的识别^[10,11]。一般采用直接和间接两种途径, 均为先分离后分析。直接法系采用手性固定相和手性流动相添加剂两种操作: 手性固定相法是基于样品与键合到载体表面的手性选择剂间结合, 形成暂时的非对映络合物, 按其能量差或稳定性不同从而达到手性分离; 手性流动相添加剂法则是通过对映体与添加到流动相中的手性分子形成一对非对映的络合物, 由于非对映络合物的稳定性、在流动相中溶剂化作用或络合物与固定相的键合等性质的差异而得到分离。间接法是将手性对映体混合物与光学纯的手性试剂反应, 生成两个非对映异构体, 然后用常规的色谱方法分离, 对分离出的衍生产物进行分析测定, 或再经还原分别得到原来的对映异构体后测定。这些方法均操作复杂且会增大分析成本。

3 手性对映体的光谱分析与同时测定的价值

如果在特定环境和特定情况下要对手性物质简捷快速的分析得出测量表征的结果, 对某些手性对映体药物进行快速简便的痕量检测, 则以不经分离而同时测定左、右旋两种异构体为最理想。目前进行这方面研究工作的已有零星报道^[12-14]。而直接利用共振瑞利散射(RRS)分析方法进行手性对映体的同时测定尚少见文献报道^[15-17]。大量研究表明某些有机化合物的异构体或同系物、某些手性对映体药物及其反应产物能表现出不同的 RRS 光谱特征和不同的强度变化, 例如用共振瑞利散射光谱法测定 β -环糊精与盐酸普鲁士卡因和 β -环糊精与氯霉素的包结常数^[15,16]; 又如用 RRS 同时测定两种吩噻嗪药物(CPZ 和 PZ)^[18], 还有利用色氨酸的手性 *D*、*L*-对映体^[17], 萘酚的 α -和 β -异构体^[19]等产生不同的共振瑞利散射光谱特征, 从而对两种异构体进行识别和同时测定。表明了 RRS 识别不同的手性异构体的可行性和潜在的应用价值。RRS 光谱分析是近年发展起来的新分析技术, 由于 RRS 兼具散射和电子吸收光

谱的双重特性,它既与分子中电子在入射电磁场作用下发生受迫振动有关,又受电子能级跃迁的影响,因此形成了一种新的光谱特征,因而它能够为研究分子结构和形态、电荷分布、键合性质以及反应特征等提供更丰富的信息。特别是它对生物大分子之间或生物大分子与小分子之间的非键作用,如缔合、聚集、偶极-偶极作用、疏水作用、长距离组装等作用十分敏锐,从而成为某些生物大分子的表征和测定及反应历程研究的一种非常有用的技术。随着 RRS 分析技术的应用研究日益扩展,此技术在核酸、蛋白质、多糖等生物大分子^[20-22],分析离子缔合物测定痕量物质^[23],有机化合物和药物分析方面也有更多的研究和应用^[24,25]。

4 光散射探针的研发助推手性识别研究

RRS 光谱分析是灵敏度极高的分析技术,正是由于光散射探针试剂的加入,反应体系会显著增强 RRS 光谱。光散射探针试剂通常有四类:(1)有机染料或药物^[26,27];(2)表面活性剂^[28];(3)纳米粒子或量子点^[29];(4)金属离子和金属配合物^[30,31]。光散射探针其作用机制类似于荧光探针,凡是能增强或减弱反应体系荧光的试剂就可用作作为荧光探针^[32,33]。而光散射探针试剂的作用方式有:(1)增强光散射,提高灵敏度^[34];(2)与生物大分子作用亲和力增加^[35];(3)增加反应选择性^[15]。

大量研究表明光散射探针提升 RRS 在光谱分析中是卓有成效的。循着这个方向探索,对手性物质的 RRS 光谱分析,需要同时提升 RRS 光谱分析的灵敏度和选择性,所以我们提出手性光散射探针的概念,虽然目前尚没有明确的定义,但通过我们前期的研究工作,可以明确手性光散射探针试剂兼具光散射探针的作用和功效,即它能够通过缔合、聚集和超分子自组装等途径以及静电作用和疏水作用等形式,增强 RRS 光谱,提高灵敏度;或增加与生物大分子的亲和力,提高反应效率;同时又能通过光谱差异区分手性对映体,提高对手性物质分离分析或同时测定的选择性。通常光谱手性识别有两种途径来实现:其一是采用冠醚、环糊精、大环多胺、环番、穴芳烷、杯[n]芳烃、卟啉等大环超分子体系作为手性包合物选择试剂^[32,36],它们可以与手性对映体形成具有手性包络差异的非对映体包合物;其二是以联萘、多环芳烃、蛋白质及酶、Cu(II)络合物等具有光学活性基团的手性基团选择试剂^[37,38],它们可以与手性对映体键合形成具有光学差异的非对映体的缔合物,同时若这两类选择性试剂加入反应体系后又能使 RRS 形成显著可区分的光谱差异,这就是所谓的手性光散射探针试剂的作用。根据分析对象合成制备不同形式的羟基氨基喹啉类光散射探针试剂将会是很好的研究方向(见图 1 和图 2)。

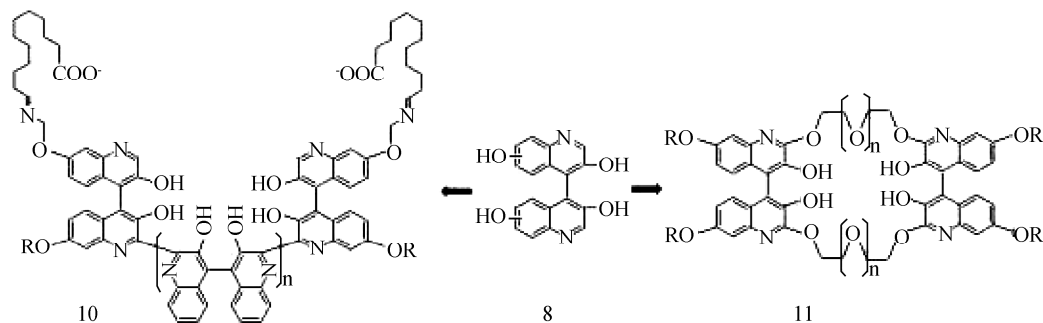


图 1 羟基喹啉衍生物

Fig. 1 Quinololinol derivatives

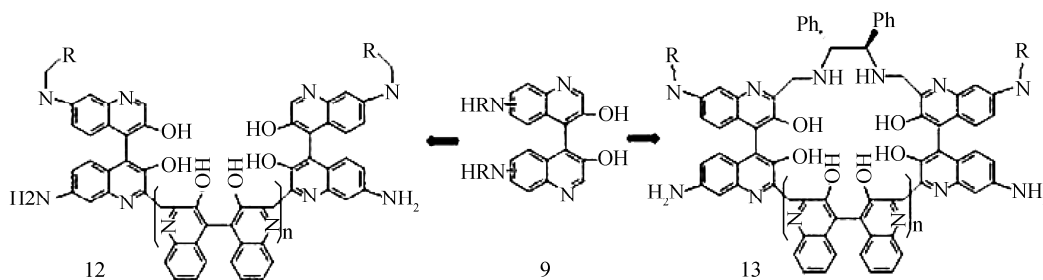


图 2 氨基喹啉衍生物

Fig. 2 Amino quinoline derivatives

其中开环的羟基氨基喹啉类衍生物, 见图 1 中的(10)和图 2 中的(12), 其作用类似上述的“具有光学活性基团的手性基团选择试剂”, 闭环的羟基氨基喹啉类衍生物, 见图 1 中的(11)和图 2 中的(13), 其作用类似“大环超分子体系作为手性包合物选择试剂”, 它们既能满足光散射增强的机制, 又兼具手性识别和增强光散射的功能, 与手性对映体作用有较强的亲和力, 形成非对映体有可区分的光学差异。同时可以在喹啉环上修饰不同成分, 改善反应体系的亲水性, 以及与生物大分子的亲和力, 改善反应体系的稳定性; 它还可以嵌入金属离子形成络合物增强螯合力, 也可以在体系中接纳微纳米粒子或量子点增加它的亲和力, 强化其特异选择性。此类手性光散射探针试剂的合成制备研究还有待完善, 其分析应用研究还有待进一步拓展。

综上所述, 未来研究方向为: 利用 RRS 光谱分析技术, 在探索对映异构体手性识别的新原理的基础上, 提出手性光散射探针的新概念, 进一步探索手性识别的新技术和新方法。主要研究内容有: ①确定羟基氨基喹啉类衍生物手性光散射探针试剂的作用机制和分类筛选及其拓展研究。②探索羟基氨基喹啉类衍生物手性光散射探针试剂的合成制备。此类手性光散射探针试剂的合成起源物质为羟基喹啉或氨基喹啉及其衍生物见图 3, 其合成途径见图 4。

其中合成中间体羟基联喹啉(图 5)和氨基联喹啉(图 6)比其他报道^[32,33]推荐常用的羟基联萘多两个 N 原子活性位点, 更易与手性物质结合反应。③建立以手性光散射探针试剂为主导的手性对映体的共振光散射光谱分析方法, 发展不经分离而同时测定手性对映体的光谱分析方法。需要解决 RRS 的几个短板弱点: 解决其稳定性较差, 加强选择

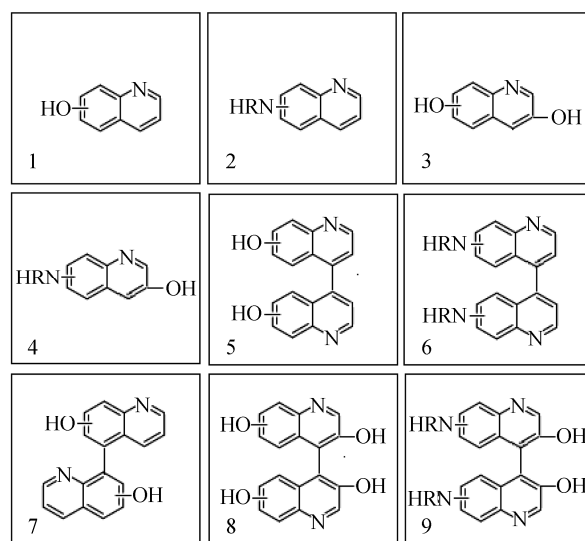


图 3 羟基、氨基喹啉衍生物源单元

Fig. 3 The hydroxyl, amino quinoline source unit

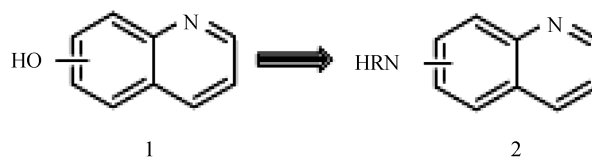


图 4 羟基、氨基喹啉衍生物合成路线

Fig. 4 The hydroxyl, amino quinoline derivatives synthesis route

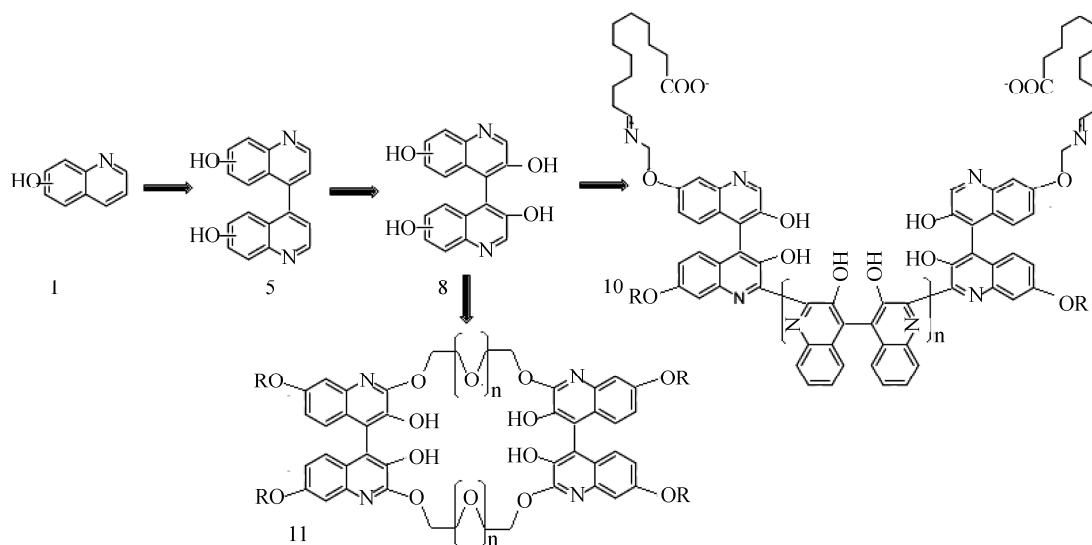


图 5 羟基喹啉衍生物合成路线

Fig. 5 Hydroxy quinoline derivatives synthesis route

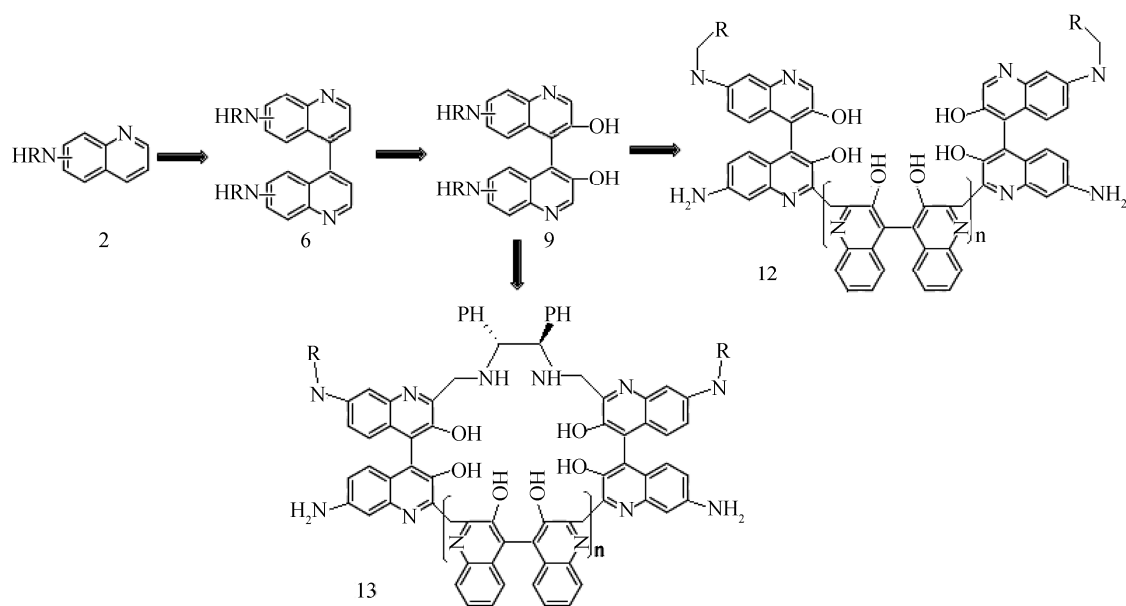


图6 氨基喹啉衍生物合成路线

Fig. 6 Amino quinoline derivatives synthetic route

性的,逐步推广到非水溶剂。通过试验羟基氨基喹啉类衍生物与外消旋的手性对映体形成非对映体的超分子体系和非对映异构体的复合物的反应,以筛选出合适的羟基氨基喹啉类衍生物手性光散射探针试剂。

5 展望

拓展光谱手性识别进而同时测定手性对映体的研究是一项具有挑战性分析工作。提出以羟基氨基喹啉类衍生物为基础合成制备手性光散射探针试剂助推手性识别应用研究具有重要意义。其创新设想在于①确定羟基氨基喹啉类衍生物手性光散射探针试剂的作用机理机制和分类筛选及其拓展研究;②探索羟基氨基喹啉类衍生物手性光散射探针试剂的合成制备;③发展以手性光散射探针试剂为主导的识别手性对映体的RRS光谱分析新方法,进一步拓展确立不经分离而同时测定手性对映体的新分析方法。

通过研究手性药物或农药形成手性超分子体系或非对映体复合物体系的反应机制和过程,探索RRS光谱特征、稳定环境和控制条件,结合探索合成修饰制备的条件,拓展分析应用实例,发展手性对映体手性识别的新技术。针对不同的手性药物或农药反应体系的RRS光谱的特征变化和信号差异,同时结合紫外光谱、圆二色谱、时间分辨和偏振荧光、红外光谱等多种分子光谱方法的验证,充分利用多元回归图解法、主因子分析法、偏最小二乘法、小波分析法以及“同原射线计量分析”^[17-19]等化学计量学的辅助作用,建立同时测定外消旋手性对映体的新方法。实

现手性药物或农药的质量控制与分析。不仅扩展和深化共振光散射技术的新分析应用,而且拓展了手性对映体的手性识别的新途径。

致谢 本研究感谢国家自然科学基金委(NSFC)两次(No. 21175015、No. 21475014)资助。

参考文献

- [1] 林国强, 陈耀全, 陈新滋, 等. 手性合成-不对称反应及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
Lin GQ, Chen YQ, Chen XC, *et al.* Chiral synthesis-asymmetric reactions and their applications [M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [2] Zhou Y, Wang WH, Dou W, *et al.* Synthesis of a new C_2 -symmetric chiral catalyst and its application in the catalytic asymmetric borane reduction of prochiral ketones [J]. *Chirality*, 2008, 20(2): 110-114.
- [3] Liu WP, Gan JY, Schlenk D, *et al.* Enantioselectivity in environmental safety of current chiral insecticides [J]. *Proceed Natl Acad Sci USA*, 2005, 102: 701.
- [4] Zeleke JM, Smith GB, Hofstetter H, *et al.* Enantiomer separation of amino acids in immunoaffinity micro LC-MS [J]. *Chirality*, 2006, 18(7): 544-550.
- [5] Jin DR, Kumar AP, Lee YI, *et al.* Determination of thyroxine enantiomers in pharmaceutical formulation by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry with precolumn derivatization [J]. *Microchem J*, 2008, 88(1): 62-66.
- [6] Andrés FD, Castañeda G, Ríos Á. A chiral liquid chromatography with circular dichroism detection for the determination of carnitine enantiomers in dietary supplements and pharmaceutical formulations [J]. *J Pharm Biomed*, 2010, 51(2): 478-483.
- [7] Marie LL, Raphaël D, Philippe M, *et al.* Simultaneous determination of

- optical and chemical purities of a drug with two chiral centers by liquid chromatography-circular dichroism detection on a non-chiral stationary phase [J]. *J Chromatogr A*, 2008, 1206(2): 123–130.
- [8] Xu Y, Musson DG. Reversed-phase chiral liquid chromatography on polysaccharide-based stationary phase coupled with tandem mass spectrometry for simultaneous determination of four stereoisomers of MK-0974 in human plasma [J]. *J Chromatogr B*, 2008, 873(2): 195–202.
- [9] Sungthong B, Jác P, Scriba GK. Development and validation of a capillary electrophoresis method for the simultaneous determination of impurities of escitalopram including the R-enantiomer [J]. *J Pharm Biomed*, 2008, 46(5): 959–965.
- [10] Sergi GM, Fausto S. Nanomechanics of lipid bilayers by force spectroscopy with AFM: A perspective [J]. *BBA Biomembranes*, 2010, 1798 (4): 741–749.
- [11] Wang H, Gruber H, Hinterdorfer P, *et al.* Lindsay Single-molecule recognition imaging microscopy [J]. *Proceed Natl Acad Sci USA*, 2004, 101: 12503.
- [12] Wei YL, Kang H, Dong C, *et al.* A simple method for the determination of enantiomeric composition of propranolol enantiomers [J]. *Anal*, 2013, 138(1): 107–110.
- [13] Song FY, Fei N, Zhu CJ, *et al.* A chiral ionic polymer for direct visual enantioselective recognition of α -amino acid anions [J]. *Chem Commun*, 2013, 49(28), 2891–2893.
- [14] Botha F, Budka J, Lhotak P, *et al.* Recognition of chiral anions using calix[4] arene-based ureidoreceptor in the 1,3-alternate conformation [J]. *Tetrahedron*, 2014, 70(2), 477–483.
- [15] Li NB, Luo HQ, Chen GN, *et al.* Resonance rayleigh scattering technology as a new method for the determination of the inclusion constant of β -cyclodextrin [J]. *Spectrochim Acta A*, 2002, 58(3): 501–507.
- [16] Li NB, Luo HQ, Liu SP. Resonance rayleigh scattering study of the inclusion complexation of chloramphenicol with β -cyclodextrin [J]. *Talanta*, 2005, 66 (2): 495–500.
- [17] 杨季冬. 用 RRS 光谱和“同原射线计量分析法”同时测定 D-和 L-色氨酸对映异构体[J]. *分析科学学报*, 2006, 22(4): 454–457.
- Yang JD. Simultaneous determination of D-&L-Tryptophan chiral enantiomer complexed with β -Cyclodextrin by using resonance rayleigh scattering spectrum and "measurement analysis of two lines with one same point". [J] *J Anal Sci*, 2006, 22(4): 454–457.
- [18] 张书然, 杨季冬. 共振瑞利散射光谱法对盐酸异丙嗪与盐酸氯丙嗪的同时测定[J]. *分析测试学报*, 2009, 28(12): 1362–1367.
- Zhang SR, Yang JD. Simultaneous determination of chlorpromazine hydrochloride and promethazine hydrochloride by resonance rayleigh scattering spectra [J]. *J Instrum Anal*, 2009, 28(12): 1362–1367.
- [19] 杨季冬. 共振瑞利散射光谱法同时测定 α -萘酚和 β -萘酚异构体[J]. *化学通报*, 2008, 71(7): 539–544.
- Yang JD. Simultaneous Determination of α -Naphthol and β -Naphthol by resonance rayleigh scattering spectra [J]. *Chem*, 2008, 71(7): 539–544.
- [20] Peng JJ, Liu SP, He YQ, *et al.* Studying the interaction between CdTe quantum dots and Nile blue by absorption, fluorescence and resonance Rayleigh scattering spectra [J]. *Spectrochim Acta A*, 2010, 75(5): 1571–1576.
- [21] Liu SP, Yang Z, Shi Y, *et al.* Resonance rayleigh scattering study on the interaction of gold nanoparticles with berberine hydrochloride and its analytical application [J]. *Anal Chim Acta*, 2006, 572(2): 283–289.
- [22] Liu SP, Hu XL, Luo HQ. Resonance rayleigh scattering spectra characteristic of the interaction of aminoglycoside antibiotics with evans blue and their analytical applications [J]. *Anal Sci*, 2003, 19(6): 927–932.
- [23] Hu XL, Liu SP and Li NB. Resonance rayleigh scattering spectra for studying the interaction of aminoglycoside antibiotics with pontamine sky blue and their analytical applications [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2003, 376(1): 42–48.
- [24] Wei XQ, Liu ZF, Liu SP. Resonance rayleigh scattering spectra of tetracycline antibiotic-Cu(II)-titan yellow systems and their applications in analytical chemistry [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2006, 385(6): 1039–1044.
- [25] Liu ZW, Liu SP, He YQ, *et al.* Resonance rayleigh scattering and resonance non-linear scattering method for the determination of aminoglycoside antibiotics with water solubility CdS quantum dots as probe [J]. *Spectrochim Acta A*, 2009, 74(1): 36–41.
- [26] Pasternack RF, Bustamante C, Collings PJ, *et al.* Porphyrin assemblies on DNA as studied by a resonance light-scattering technique [J]. *J Am Chem Soc*, 1993, 115(13): 5393–5399.
- [27] Huang CZ, Li YF, Huang XH, *et al.* Interaction of janus green b with double stranded dna and the determination of DNA based on the measurement of enhanced resonance light scattering [J]. *Anal*, 2000, 125(7): 1267–1272.
- [28] Liu RT, Yang JH, Wu X, *et al.* Interaction of cetylpyridinium bromide with nucleic acids and determination of nucleic acids at nanogram levels based on the enhancement of resonance rayleigh light scattering [J]. *Spectrochim Acta A*, 2002, 58(9): 1935–1942.
- [29] 李太山, 刘绍璞, 刘忠芳, 等. 碲化镉纳米晶溶液的荧光和共振瑞利散射特性及碲化镉纳米晶与氨基糖苷类抗生素相互作用[J]. *中国科学(B 辑)*, 2008, 38(9): 798–807.
- Li TS, Liu SP, Liu ZF, *et al.* Cadmium telluride nanocrystalline solution fluorescence and resonance Rayleigh scattering characteristics and cadmium telluride nanocrystalline interact with aminoglycoside antibiotics [J]. *Sci China(Series B)*, 2008, 38(9), 798–807.
- [30] Huang CZ, Li KA, Tong SY. Determination of nanograms of nucleic acids by their enhancement effect on the resonance light scattering of the Cobalt(II) / 4-[(5-Chloro-2-Pyridyl) Azo] -1, 3-Diaminobenzene complex [J]. *Anal Chem*, 1997, 69(13): 514–520.
- [31] 杨传孝, 李原芳, 奉萍. 铝离子与脱氧核糖核酸作用的共振光散射研究[J]. *分析化学*, 2002, 30(4): 473–477.
- Yang CX, Li YF, Feng P. Study on the interaction of aluminum ion with deoxyribonucleic acid by resonance light scattering measurement [J]. *Chin J Anal Chem*, 2002, 30(4): 473–477.
- [32] Pu L. Fluorescence of organic molecules in chiral recognition [J]. *Chem Rev*, 2004, 104(3): 1687–1716.
- [33] Li SY, Zheng QY, Huang ZT, *et al.* Fluorescent probes of D-(+)-gluconic acid d-lactone based on binary hosts of chiral calix[5]arene [J]. *Tetrahedron-Asymmetr*, 2005, 16(16): 2816–2820.
- [34] Chen PL, Hu XL, Liu SP, Song YQ, *et al.* Study on the resonance nonlinear scattering spectra of the interactions of promethazine hydrochloride and chlorpromazine hydrochloride with 12-tungstophosphoric acid and their analytical applications [J]. *Spectrochim Acta A*, 2010, 77(1): 207–212.
- [35] He W, Huang CZ, Wang J, *et al.* One-step label-free optical genosensing

system for sequence-specific DNA related to the human immunodeficiency virus based on the measurements of light scattering signals of gold nanorods [J]. *Anal Chem*, 2008, 80 (22): 8424–8430.

- [36] 陈娟娟, 张大同, 沈报春, 等. *D,L-α*-氨基酸对映体在冠醚手性柱上的分离[J]. *分析化学*, 2006, 34(11): 1535–1540.

Chen JJ, Zhang DT, Shen BC, Enantioseparation of *D,L-α*-Amine acid on crown ester chiral stationary phases [J]. *Chin J Anal Chem*, 2006, 34(11): 1535–1540.

- [37] Tang YH, He Y, Yao TW, *et al.* Simultaneous determination of the enantiomers of esmolol and its acid metabolite in human plasma by reversed phase liquid chromatography with solid-phase extraction [J]. *J Chromatogr B*, 2004, 805(2): 249–254.

- [38] Wang JZ, Wang XJ, Tang YH, *et al.* Simultaneous determination of man-

delic acid enantiomers and phenylglyoxylic acid in urine by high-performance liquid chromatography with precolumn derivatization [J]. *J Chromatogr B*, 2006, 840(1): 50–55.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



杨季冬, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为分子光谱分析。

E-mail: sxyjd7600@sina.com

“现代发酵工程在食品工业中的应用”专题征稿

目前, 生物工程技术已经被人们广泛的应用在人类社会发展的过程中, 不仅给生活和工程带来了极大的便利, 同时因其具有环境保护作用, 给人们带来广阔的经济效益和良好的社会效应。发酵工程是生物技术产业化的基础, 而在食品领域发展的过程中, 现代发酵工程技术也成为其中的主要内容。

鉴于此, 本刊特别策划了“现代发酵工程在食品工业中的应用”专题, 由河南工业大学的黄继红教授担任专题主编。黄继红教授兼任中国发酵工程研究会专家组专家, 中国微生物学会理事, 河南省食品科学技术学会常务理事, 河南省生物工程学会副理事长, 河南省微生物学会理事, 国家级节能减排评估师, 国家食品生产质量安全评估师。长期从事现代发酵工程的研究。本专题主要围绕: **改造传统的食品加工工艺, 开发功能性食品, 新糖原的开发, 微生物蛋白及生物活性小分子肽的生产, 微生物油脂的生产, 发酵饮料、酒类的生产, 微生物发酵生产食品添加剂**等内容进行论述, 或您认为本领域有意义的问题展开讨论, 计划在 2014 年 12 月出版。

本刊编辑部及黄继红教授特邀请各位专家为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 2014 年 11 月 10 日前通过网站在线投稿或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。也可加急, 投稿时请注明!

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: tougao@chinafoodj.com

《食品安全质量检测学报》编辑部