

doi:10.3969/j.issn.0253-2417.2013.03.028

离子液体在天然产物分离分析中的应用



YAO Xi

姚曦, 岳永德*, 汤锋

(国际竹藤中心, 国家林业局竹藤科学与技术重点开放实验室, 北京 100102)

摘要: 在查阅了大量国内外文献资料的基础上, 综述了近几年离子液体在天然产物研究中的提取、分离(如液-液萃取、液-固萃取、双水相萃取、离子液体微波辅助萃取)及色谱分析中(高效液相色谱(HPLC)、气相色谱(GC)、薄层色谱(TLC)、毛细管电泳(CE))的应用进展, 并展望了其应用前景和发展方向。

关键词: 离子液体; 天然产物; 分离分析; 色谱

中图分类号: TQ35

文献标识码: A

文章编号: 0253-2417(2013)03-0143-06

Application of Ionic Liquids in Separation and Analysis of Natural Products: A Review

YAO Xi, YUE Yong-de, TANG Feng

(International Centre for Bamboo & Rattan, SFA Key Open Laboratory on Bamboo & Rattan Science and Technology, Beijing 100102, China)

Abstract: The ionic liquid is one of the hot topics in the research field of chemistry and chemical engineering. Based on large reviewing of the domestic and foreign references, this paper introduced the research progress of ionic liquid in recent years and summarized the applications of ionic liquids in extraction of natural products and chromatography analysis. The application foreground and developing direction of ionic liquid has been prospected.

Key words: ionic liquid; natural product; separation and analysis; chromatography

离子液体(Ionic Liquid, 简称 IL), 又称室温离子液体, 通常是指熔点低于 100℃ 的有机盐。由于完全由离子组成, 离子液体有许多不同于常规有机溶剂的性质, 如熔点低、不挥发、液程范围宽、热稳定性好、溶解能力强、性质可调、不易燃烧等。由于具有不挥发等特性, 许多离子液体可作为绿色溶剂, 越来越受到化学工作者的关注。离子液体的研究早在 1914 年就出现了, 此后相当长时期内对离子液体的研究, 主要集中在氯化铝酸盐离子液体, 其缺点是对水及氧化性杂质敏感, 不适合用于含水体系。1992 年, Wilkes 等^[1] 研制出了对水和空气更为稳定的 1-乙基-3-甲基咪唑四氟硼酸盐离子液体, 离子液体的研究才开始迅速发展。目前最为常用的离子液体有咪唑型、吡啶型、烷基铵盐等类型。近十多年来, 离子液体的应用已发展到催化^[2-4]、电化学^[5-7]、有机合成^[8-10]等领域。目前, 离子液体用于分离、分析领域的研究报道不断增多。作者对近年来离子液体在天然产物研究领域中的应用进展进行了综述。

1 离子液体的特点

与传统的有机溶剂和电解质相比, 离子液体具有一系列突出的特点: 1) 几乎无蒸汽压、不挥发、不燃、不爆炸; 2) 熔点低, 稳定性好, 液态温度区间大, 呈液态的温度范围广^[11-12]; 3) 溶解性能好, 可设计调

收稿日期: 2012-10-30

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划资助(2012BAD23B0301)

作者简介: 姚曦(1981-), 男, 安徽芜湖人, 助理研究员, 博士生, 主要从事植物化学研究工作; E-mail: yaoxi@icbr.ac.cn

* 通讯作者: 岳永德, 教授, 博士生导师, 研究领域: 植物化学、环境化学; E-mail: yueyd@icbr.ac.cn.

节离子液体的极性^[13-14];4)电导率高,电化学窗口大,可作为许多物质电化学研究的电解液;5)离子液体还有生物降解性,其决定于阳离子上烷基的侧链,具有吡啶单元的化合物很难降解,具有咪唑结构的化合物在微生物的作用下易分解。基于这些独特的性质,室温离子液体被认为是继超临界流体 CO₂ 之后的新一代“绿色”溶剂,因而受到越来越多的科研工作者的关注。

2 离子液体的应用

2.1 离子液体在天然产物提取分离中的应用

1998年以来,Huddleston等^[15]采用离子液体[Bmim][PF₆]从水中萃取苯及苯的衍生物,此项研究目前被认为是最早用离子液体代替传统有机溶剂进行萃取的实验。

植物中的生物活性成分诸如生物碱、黄酮类、萜类、苷类、蒽醌类、香豆素类等主要存在于植物细胞内,植物细胞壁主要是由纤维素构成的,具有一定的硬度,因此成为有效成分提取的主要屏障。2002年,Swatloski等^[16]报道了利用烷基取代的咪唑离子液体溶解并处理纤维素,离子液体溶解纤维素这一特性给研究者提供了一个样品制备技术的新思路。

2.1.1 液-液萃取 离子液体分为疏水性和亲水性两种类型,疏水性离子液体能够与水形成界面清晰的两相。研究表明,疏水性离子液体萃取红霉素得到很好的效果^[17]。刘庆芬^[18]研究了[Bmim]BF₄萃取青霉素的萃取率和分配系数受pH值、相比、水溶液中青霉素浓度以及青霉素水溶液中无机盐浓度的影响。由于[Bmim]BF₄熔点为10℃,在室温呈液体,密度为1.37 g/cm³(25℃),与水的密度差大于0.1,可以方便地进行两相分离,且其导电系数为1.6 mS/cm(25℃)^[19],可以作为导电性能良好的萃取剂;其结构中有疏水的烷基侧链部分和亲水的咪唑环部分,使[Bmim][PF₆]具有表面活性剂的性质,可以减轻乳化。

Matsumoto等^[20]采用三辛基甲基氯化铵萃取水相中的青霉素,在pH值为6时的萃取效率与传统的醋酸丁酯在pH值3条件下的萃取效率相当并证明了青霉素的萃取是通过青霉素阴离子与离子液体的Cl⁻发生离子交换实现的。

张玮^[21]利用[C₄mim][PF₆]和[C₆mim][PF₆]对中药材当归、川芎和蒲公英中阿魏酸和咖啡酸的萃取性能进行研究。实验结果表明,上述两种离子液体对中药材中阿魏酸和咖啡酸具有较好的选择萃取和富集能力,且被萃取物能够定量回收,离子液体能够重复使用。

2.1.2 液-固萃取 约克大学的Bioniqs公司^[22]研究了离子液体萃取青蒿素。DMEA oct对青蒿素萃取30 min后青蒿素的质量浓度可达到0.79 g/L,与正己烷的萃取效果相当(0.78 g/L),但30 min后由于青蒿素降解使得萃取率下降。BDMEA bst的萃取速率低于DMEA oct,但萃取后青蒿素的浓度比在DMEA oct中高25%,而且青蒿素没有发生降解。萃取后经过水相反萃、结晶得到纯度在95%以上的青蒿素,萃取剂经过闪蒸可以实现离子液体的循环使用。

顾彦龙等^[23-24]研究了多种离子液体对牛磺酸的溶解性能,发现氯化1-丁基-甲基咪唑盐离子液体[Bmim]Cl及溴化1-丁基-3-甲基咪唑盐离子液体[Bmim]Br能够较好的溶解牛磺酸,80℃下[Bmim]Cl对牛磺酸的溶解度能达到0.212 g/g,而对牛磺酸生产中的副产品硫酸钠的溶解度均小于0.01 g/g。通过40 min的萃取,质量比为3:4的牛磺酸-硫酸钠混合物中硫酸钠的含量降低为原来的1/565,萃取效果明显优于传统的电渗析法及重结晶法。

2.1.3 双水相萃取 双水相萃取技术是近年来发展起来的提取和纯化生物活性物质的新型分离方法之一,具有操作条件温和、活性损失小、操作简单、易于放大等优点,被认为在提取生物活性物质方面具有潜在的应用价值。Gutowski等^[25]发现向亲水无机盐溶液加入亲水性离子液体,可形成互不相溶的离子液体双水相,其中一相以离子液体为主并含有少量的无机盐;另一相以无机盐为主,含有少量离子液体。

He等^[26]利用[Bmim]Cl/K₂HPO₄离子液体双水相分离睾酮激素与罂粟碱,得到较满意的分配系数,一次萃取率可达80%~90%,而且没有乳化现象。Soto等^[27]等考察了[omim][BF₄]/NaH₂PO₄分离

阿莫西林、氨苄青霉素的条件下,证明阿莫西林和氨苄西林的分配系数受 pH 值的影响。

夏寒松等^[28-30]利用亲水离子液体与无机盐 $[\text{Bmim}][\text{BF}_4]\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 构建了双水相萃取青霉素,并对双水相萃取微观结构进行了分析。增大离子液体或者无机盐浓度有利于双水相形成。提高离子液体疏水性促进双水相分离,而减少无机盐亲水性也有利于双水相形成,二者亲水性质对双水相成相规律的影响正好相反。

2.1.4 离子液体微波辅助萃取 微波萃取技术利用微波加热来加速溶剂对样品中目标萃取物的萃取过程,由于离子液体具有良好的微波吸热能力,可以作为微波萃取的溶剂,二者的结合在天然产物的提取中有着广阔的应用前景。

杜甫佑等^[31]考察了在微波辅助下离子液体的种类和浓度对萃取石蒜生物碱的影响,并与传统萃取方法进行了对比研究。结果显示,1.0 mol/L 氯化 1-丁基-3 甲基咪唑盐离子液体 $[\text{Bmim}]\text{Cl}$ 溶液为溶剂,其中液固比 15:1,温度 80 °C,萃取 10 min 的条件下,石蒜碱、力克拉敏和加兰他敏生物碱的萃取率分别为 2.730、0.857 和 0.179 mg/g。该研究小组在比较 $[\text{Bmim}]\text{Cl}$ 、 $[\text{Bmim}]\text{Br}$ 和 $[\text{Bmim}][\text{BF}_4]$ 这 3 种离子液体后,选择 2.5 mol/L $[\text{Bmim}]\text{Br}$,采用微波消解方法,应用于虎杖中白藜芦醇的提取,一次提取率可达 92.8 %^[32]。

朱小娟^[33]采用离子液体 $[\text{Bmim}]\text{Cl}$ 微波辅助萃取法提取薄荷草中的薄荷醇及牡丹皮中的丹皮酚,结果表明,两种物质的提取率均有所提高,且提取时间大大缩短。

Wang 等^[34]比较研究了 10 种离子液体后,选择 $[\text{C}_8\text{mim}]\text{Br}$ 作为溶剂成功地从喜树果实中提取喜树碱和羟基喜树碱。优化后的条件为,0.8 mol/L $[\text{C}_8\text{mim}]\text{Br}$ 12 mL,浸泡 2 h,固液比 1:12(g:mL),微波功率 385 W 下提取 2 次,每次 8 min,提取过程中未检测到目标化合物有降解现象,方法稳定、有效、简单。

Yang 等^[35]应用 $[\text{Bmim}]\text{Br}$ 辅以微波从落叶松树皮中成功提取花青素,并通过热重/差热分析仪分析得出,经离子液体处理后样品中小分子物质更容易被分离,且电子显微镜下显示处理后的样品,纤维素结构被破坏的更为彻底,这也验证了其内含物更易被提取出来的结论。

2.2 离子液体在色谱中的应用

2.2.1 高效液相色谱(HPLC) 在 HPLC 柱中咪唑阳离子与柱子载体表面的硅醇基相互作用,并且分析物的极性基团也会与载体表面的硅醇基相互作用,从而形成了竞争,最终达到提高分离效率,改善峰形的效果^[36]。离子液体可以有效地掩盖载体上残留的硅醇基和改变峰型,缩短分析物的保留时间。He 等^[37]研究了在 C_{18} 柱上用 pH 值 3.0 的含离子液体的洗脱剂分离 4 种碱性化合物(降麻黄碱、麻黄碱、伪麻黄碱、甲基麻黄碱)的行为。研究发现,添加离子液体减小峰宽和拖尾,改进分辨率,其中以 $[\text{Bmin}]\text{BF}_4$ 的效果最好,并且咪唑基离子液体与 C_{18} 柱是相容的。

离子液体在 HPLC 中应用的另外一个原因是, $[\text{Cnmim}][\text{BF}_4]$ 的应用抑制了自由硅醇基的有害作用^[38]。研究显示在流动相中加入体积分数(0.5%~1.5%)的 $[\text{Cnmim}][\text{BF}_4]$ 作为硅醇基的掩蔽添加剂时,离子液体比标准相添加剂,如三乙胺、辛基二甲基胺和氨时的分离效果明显要好^[39]。

在反相 HPLC 中,1-烷基-3-甲基咪唑鎓盐和 N-丁基吡啶鎓盐离子作为流动相添加剂用于分离儿茶酚胺,取得了良好的分离效果^[40]。

Tang 等^[41]利用离子液体水溶液作为流动相,分离了陈皮、枳实等提取物中的真萜胺、脱氧肾上腺素和酪胺。实验结果表明,几种离子液体中, $[\text{Emim}][\text{BF}_4]$ 的分离效果最好,pH 值对保留因子的影响最为明显。

边敏等^[42]用 $[\text{Bmin}]\text{BF}_4$ 作流动相添加剂分离苦参中的 5 种生物碱,结果显示,离子液体不仅能减少生物碱分离时产生的拖尾峰,而且与三乙胺比较,它对生物碱的保留意向较小,在相同浓度时,分离效率显著提高。

2.2.2 气相色谱(GC) 离子液体所具有的如非挥发性、不燃烧、对许多化合物有好的溶解性、高黏度和极性,使离子液体可以作为 GC 中独特的固定相。

离子液体在气相色谱中应用研究做得最出色的是 Armstrong 研究小组。1999 年 Armstrong 等^[43]用两种典型的离子液体 [Bmim][PF₆] 和 [Bmim]Cl 作为 GC 的固定相,研究了离子液体对各种化合物的相互作用和保留行为。离子液体固定相似乎具有双重性质;如果被分析物是具极性化合物,离子液体保留极性化合物,可以把离子液体看作极性固定相;如果被分析物是非极性化合物,离子液体保留非极性化合物,可以把离子液体看作非极性固定相。[Bmim]Cl 与质子供体和受体化合物具有非常强的相互作用,[Bmim][PF₆] 与非极性物质有更强的相互作用,这个现象可以用自由能的变化进行解释^[44]。

2.2.3 薄层色谱(TLC) 吕芳等^[45]研究了离子液体在薄层色谱中对硅胶基质自由硅羟基的抑制作用,发现以 [Emim]BF₄、[Bmim]BF₄ 和 [Bmim]PF₆ 作展开剂添加剂时,麻黄碱 R_f 值的变化规律:先随离子液体浓度的增加而增加,当达到一定浓度的时候,R_f 值不再明显变化。纪平等^[46]的研究也表明,离子液体不仅能改善斑点拖尾现象,而且能够改变被分离物质的 R_f 值,大大提高对碱性物的分离能效。

2.2.4 毛细管电泳(CE) 因离子液体具有较高的电导率,可作为电解质添加剂用于毛细管电泳的分离,使得离子液体在毛细管电泳中应用广泛。

Yanes 等^[47]先后报道了四乙胺四氟硼酸离子液体及 1-烷基-3-甲基咪唑离子液体^[48]作为毛细管电泳色谱的泳动液来有效分离葡萄籽中的多酚类化合物。通过改变离子液体的种类及浓度,研究人员推测分离的机理是离子液体的阳离子与多酚之间的相互作用。离子液体在毛细管表层形成带电薄层,咪唑离子液体阳离子与样品作用促进了样品在毛细管中的迁移从而达到分离的目的。

Qi 等^[49]将离子液体 [Emim][BF₄]、[Bmim][BF₄] 作为毛细管电泳中的泳动电解液分离中草药沙绢蒿中的 4 种类黄酮衍生物。通过带负电的黄酮衍生物与离子液体咪唑阳离子之间的相互作用实现类黄酮衍生物分离。检测限为 0.137~0.642 mg/L,由于传统的硼酸盐电解质 0.762~1.036 mg/L,线性范围为 1.100~2.656 mg/L,高于硼酸盐电解质 2.188~5.313 mg/L,在高离子强度的条件下,离子液体作为电解液的优势更加明显。

3 结语与展望

近几年,由于离子液体具有的一些独特性能,已经成功地应用于天然产物研究多个方面。作为萃取溶剂,提取分离的化合物种类已涵盖了黄酮类、生物碱、果胶、多酚类、绿原酸、色素、植物内酯等物质;在色谱及电泳中的应用,主要集中在作为添加剂的使用上。总体来看,离子液体的应用表现出与传统方法不可比拟的优势,如提高提取率,优化峰形,操作简单,循环使用以及环境友好等特点。

离子液体在天然产物分离方面显示出高选择性、高萃取效率等独特优势,但真要把离子液体从实验室应用到工业领域仍然面临诸多挑战。离子液体出现时间较晚,目前对于其物理性质、结构参数、腐蚀性、毒性等数据不够完善。此外,对离子液体萃取机理和萃取规律的研究不足。相信随着研究的逐渐系统和深入,离子液体在天然产物中的应用将更加高效和成熟。

参考文献:

- [1] WILKES J S, ZAWOROTKO M J. Air and water stable 1-methyl-3-ethylimidazolium based ionic liquids[J]. Journal of the Chemical Society, Chemical Communications, 1992(13):965-967.
- [2] ANDERSON J L, DING J, WELTON T, et al. Characterizing ionic liquids on the basis of multiple solvation interactions[J]. J Am Chem Soc, 2002, 124(47):14247-14254.
- [3] LANCASTER N L, SALTER P A, WELTON T, et al. Nucleophilicity in ionic liquids[J]. J Org Chem, 2002, 67(25):8855-8861.
- [4] VAN DER EYCKEN E, APPUKUTTAN P, DE BORGGRAEVE W, et al. High-speed microwave-promoted hetero-Diels-Alder reactions of 2(1H)-pyrazinones in ionic liquid doped solvents[J]. J Org Chem, 2002, 67(22):7904-7907.
- [5] ROCABOY C, HAMPEL F, GLADYSZ J A. Syntheses and reactivities of disubstituted and trisubstituted fluorinated pyridines with high fluorophilic phase affinities. Solid state, liquid crystal, and ionic liquid-phase properties[J]. J Org Chem, 2002, 67(2):6863-6870.
- [6] ZERTH H M, LEONARD N M, MOHAN R S. Synthesis of homoallyl ethers via allylation of acetals in ionic liquids catalyzed by trimethylsilyl trifluoromethanesulfonate[J]. Org Lett, 2003, 5(1):55-57.
- [7] NAUDIN E, ANH H H, BREAUX L, et al. Electrochemical polymerization and characterization of poly(3-(4-fluorophenyl)thiophene) in pure

- ionic liquids[J]. *J Phys Chem B*,2002,106(41):10585-10593.
- [8] CALO V, GIANNOCCARO P, NACCI A, et al. Pd-benzothiazole carbene catalysed carbonylation of aryl halides in ionic liquids[J]. *J Organomet Chem*,2002,645(2):152-157.
- [9] ZHAO D B, WU M, KOU Y. Ionic liquids. Applications in catalysis[J]. *Catalysis Today*,2002,74(1/2):157-189.
- [10] WOLAN A, ZAJDLIEWICZ M. Synthesis of arylboronates by the palladium catalysed cross-coupling reaction in ionic liquids[J]. *J Organomet Chem*,2003,19(1):3274-3276.
- [11] ZHOU Z B, MATSUMOTO H, TATSUMI K. Low-melting, low-vision, hydrophobic ionic liquids. 1-Alkyl (alkylE ther)-3-methylimidazolium Perfluoroalkyltrifluoroborate[J]. *Chemistry-A European Journal*,2004,10(24):6581-6591.
- [12] YE C, LIU W, CHEN Y, et al. Room-temperature ionic liquids. A novel versatile lubricant[J]. *Chemical Communications*,2001(21):2244-2245.
- [13] YADAV J S, REDDY B V S, BASAK A K, et al. [Bmim]PF₆ and BF₄ ionic liquids as novel and recyclable reaction media for aromatic amination[J]. *Cheminform*,2003(44):2217-2220.
- [14] KORONAIOS P, KING D, OSTERYOUNG R A. Acidity of neutral buffered 1-ethyl-3-methylimidazolium chloride-AlCl₃ ambient-temperature molten salts[J]. *Inorg Chem*,1998,37(8):2028-2032.
- [15] HUDDLESTON J G, WILLAUER H D, SWATLOSKI R P, et al. Room temperature ionic liquids as novel media for clean liquid-liquid extraction[J]. *Chemical Communications*,1998(16):1765-1766.
- [16] SWATLOSKI R P, SPEAR S K, HOLBREY J D, et al. Dissolution of cellulose with ionic liquids[J]. *J Am Chem Soc*,2002,124(18):4974-4975.
- [17] CULL S G, HOLBREY J D, MORE V, et al. Room-temperature ionic liquids as replacements for organic solvents in multiphase bioprocess operations[J]. *Biotechnol Bioeng*,2000,69(2):227-233.
- [18] 刘庆芬. 离子液体萃取青霉素的应用基础研究[D]. 北京:中国科学院研究生院博士学位论文,2006.
- [19] 顾彦龙,彭加建,乔琨. 室温离子液体及其在催化和有机合成中的应用[J]. *化学进展*,2003,15(3):222-241.
- [20] MATSUMOTO M, OHATANI T, KONDO K. Comparison of solvent extraction and supported liquid membrane permeation using an ionic liquid for concentrating penicillin[J]. *G J Membrane Sci*,2007,289:92-96.
- [21] 张玮. 疏水性离子液体萃取分离中草药中阿魏酸和咖啡酸的研究[D]. 南昌:南昌大学硕士学位论文,2007.
- [22] BIONIQS LIMITED. Extraction of artemisinin using ionic liquids[R]. Confidential Report,2006.
- [23] GU Y L, SHI F, WANG H, et al. Leaching separation of taurine and sodium sulfate solid mixture using ionic liquids[J]. *Sep Purif Technol*,2004,35(2):153-159.
- [24] 顾彦龙,石峰,邓有权. 室温离子液体浸取分离牛磺酸与硫酸钠固体混合物[J]. *化学学报*,2004,62(5):532-536.
- [25] GUTOWSKI K E, ROGERS R D. Controlling the aqueous miscibility of ionic liquids aqueous biphasic systems of water miscible ionic liquids[J]. *J Am Chem Soc*,2003,125(22):6632-6633.
- [26] HE C Y, LI S H, LIU H W, et al. Extraction of testosterone and epitestosterone in human urine using aqueous two-phase systems of ionic liquid and salt[J]. *J Chromatogr A*,2005,1082(2):143-149.
- [27] SOTO A, ARCE A, KHOSHKBARCHI M K. Partitioning of antibiotics in a two-liquid phase system formed by water and a room temperature ionic liquid[J]. *Sep Sci Technol*,2006,41(2):2849-2858.
- [28] 夏寒松,杨屏,余江,等. 离子液体双水相萃取青霉素分配系数的变化[C]//中国工程院化工、冶金与材料工程学部第五届学术会议论文集. 北京:中国石化出版社,2005:362-365.
- [29] 夏寒松,余江,胡雪生,等. 离子液体相行为(I):胶团化特性[J]. *化工学报*,2006,57(9):2145-2148.
- [30] 夏寒松,余江,胡雪生,等. 离子液体相行为(II)双水相的成相规律[J]. *化工学报*,2006,57(9):2149-2151.
- [31] 杜甫肖,肖小华,李攻科. 离子液体微波辅助萃取石蒜中生物碱的研究[J]. *分析化学*,2007,35(11):1570-1574.
- [32] DU F Y, XIAO X H, LI G X. Application of ionic liquids in the microwave-assisted extraction of *trans*-resveratrol from *Rhizma Polygoni Cuspidati*[J]. *Journal of Chromatography A*,2007,1140(2):56-62.
- [33] 朱小娟. 离子液体在微波辅助提取中草药有效成分中的应用及其吸附去除的研究[D]. 广州:华南理工大学硕士学位论文,2010.
- [34] WANG S Y, YANG L, ZU Y G, et al. Design and performance evaluation of ionic liquids-microwave based environmental-friendly extraction technique for camptothecin and 10-hydroxycamptothecin from samara of *Camptotheca acuminata* [J]. *Ind Eng Chem Res*,2011,50(24):13620-13627.
- [35] YANG L, SUN X W, YANG F J, et al. Application of Ionic Liquids in the Microwave-Assisted Extraction of Proanthocyanidins from *Larix gmelini* Bark[J]. *Int J Mol Sci*,2012,13(4):5163-5178.
- [36] RUIZ-ANGEL M J, CARDA-BROCH S, BERTHOD A. Ionic liquids versus triethylamine as mobile phase additives in the analysis of β -blockers[J]. *J Chromatogr A*,2006,1119(1):202-208.
- [37] HE L J, ZHANG W Z, ZHAO L, et al. Effect of 1-alkyl-3-methylimidazolium-based ionic liquids as the eluent on the separation of ephedrine

- by liquid chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 2003, 1007(2):39-45.
- [38] MARSZALL M P, BACZEK T, KALISZAN R. Reduction of silanophilic interactions in liquid chromatography with the use of ionic liquids[J]. Anal Chim Acta, 2005, 547(2):172-178.
- [39] KALISZAN R, MARSZALLI M P, MARKUSZEWSKI M J, et al. Suppression of deleterious effects of free silanols in liquid chromatography by imidazolium tetrafluoroborate ionic liquids[J]. J Chromatogr A, 2004, 1030(1):263-271.
- [40] ZHANG W Z, HE L J, GU Y L, et al. Effect of ionic liquids as mobile phase additive on retention of catecholamines in reversed-phase high-performance liquid chromatography[J]. Anal Lett, 2003, 36(4):827-838.
- [41] TANG F L, LUO X B, DING L. Determination of octopamine, synephrine and tyramine in Citrus herbs by ionic liquid improved 'green' chromatography[J]. J Chromatogr A, 2006, 1125(2):182-188.
- [42] 边敏, 尹浩, 张尊建. 以离子液体和三乙胺作流动相添加剂分离苦参中的生物碱[J]. 南京工业大学学报:自然科学版, 2012, 34(1):117-120.
- [43] ARMSTRONG D W, HE L F, LIU Y S. Determination of cell viability in single or mixed samples using capillary electrophoresis laser-induced fluorescence microfluidic systems[J]. Anal Chem, 2001, 71(19):4551-4557.
- [44] ANDERSON J L, DING J, WELTON T, et al. Characterizing ionic liquids on the basis of multiple solvation interactions[J]. J Am Chem Soc, 2002, 124(47):14247-14254.
- [45] 吕芳, 何丽君, 伍艳. 离子液体作薄层色谱添加剂对麻黄碱分离的影响[J]. 化学试剂, 2006, 28(9):551-552.
- [46] 纪平, 马郑, 郭兴杰. 离子液体用于牛黄罗定及有关物质的薄层色谱分离[J]. 中国医药工业杂志, 2009, 40(7):526-528.
- [47] YANES E G, GRANTZ S R, STALCUP A M. Tetraethylammonium tetrafluoroborate. A novel electrolyte with a unique role in the capillary electrophoretic separation[J]. Analyst, 2000, 125(11):1919-1923.
- [48] YANES E G, GRANTZ S R, BALDWIN M J, et al. Capillary electrophoretic application of 1-alkyl-3-methylimidazolium-based Ionic liquids [J]. Analytical Chemistry, 2001, 73(16):3838-3844.
- [49] QI S D, LI Y Q, DENG Y R, et al. Simultaneous determination of bioactive flavone derivatives in Chinese herb extraction by capillary electrophoresis used different electrolyte systems-borate and ionic liquids[J]. J Chromatogr A, 2006, 1109(2):300-306.

本刊信息

中国精品科技期刊证书

Certificate of Outstanding S&T Journals of China 2011

林产化学与工业

经过中国精品科技期刊遴选指标体系综合评价, 贵刊被评选为 2011 年度中国精品科技期刊。
特此证明。



精品科技期刊编辑部信息项目组

中国科技信息研究所

2011年12月