

毛细管电泳在农药残留检测上的应用

唐建设¹, 项 丽^{1,2}

(1. 安徽建筑工业学院 环境工程系, 安徽 合肥 230022; 2. 安徽农业大学 资源与环境学院, 安徽 合肥 230036)

摘 要: 对近 20 年来毛细管电泳分析方法在农药残留分析中的应用进行了论述. 按照农药的用途分类, 分别评述了应用毛细管电泳分析检测杀虫剂和杀菌剂以及除草剂残留的研究进展, 并对毛细管电泳在农药残留分析中的应用进行了展望.

关键词: 毛细管电泳; 农药; 残留

中图分类号: O657.7

文献标识码: B

文章编号: 1006-3757(2005)03-0215-06

毛细管电泳(Capillary Electrophoresis, CE), 也称为高效毛细管电泳(High Performance Capillary Electrophoresis, HPCE), 是近年来发展起来的一类以毛细管为分离通道, 以高压直流电场为驱动力的新型液相分离分析方法, 是现代分析化学研究的前沿领域之一. 它利用液体介质中的带电粒子在电场作用下迁移速度不同而进行分离的方法.

毛细管电泳具有高灵敏度、分离度高、分析速度快和样品用量少等特点, 其应用范围包括无机离子、有机分子、生物大分子、对映体等. 它在分析化学、生物化学、分子生物学、药物化学、食品化学、环境化学、医学和法学等许多领域均有广泛的应用.

农药的测定常采用气相色谱和高效液相色谱法, 我国的农药类标准方法一般以气相色谱法为主. 高效毛细管电泳用于农药原药、制剂及残留的分离分析, 国内起步较晚, 国外同行在这一领域已作了大量研究工作, 其中尤以各种除草剂的分离、单种农药制剂及复配农药的有效成分含量测定报道居多^[1].

1 杀虫剂及杀菌剂

根据各农药的化学和毒理学性质, 检测有机磷农药的分析方法有波谱法、色谱法、酶抑制法、酶联免疫法和活体生物测定法^[2]. 用毛细管电泳技术分析有机磷农药残留的研究, 国外研究较早, 国内对此的研究正在渐渐兴起.

Schmitt 等^[3] 用毛细管胶束电动色谱(micellar

electrokinetic chromatography, MEKC) 法, 在添加 100 mmol/L SDS、40 mmol/L 二甲基-β-环糊精(DM-β-CD)、pH = 9 的 20 mmol/L 硼酸缓冲溶液中, 200 nm 紫外光下, 同时分离并检测了育畜磷、异柳磷、氯亚胺硫磷、苯线磷和马拉硫磷. 同时在上述体系中添加 40 mmol/L DM-β-CD、15% 的甲醇, 分离了 6 种 DDT 的同分异构体. Susse 等人^[4] 用毛细管胶束电动色谱法, 在添加 30 mmol/L SDS、pH = 8 的 5 mmol/L 硼酸缓冲溶液中, 200~ 300 nm 紫外光下, 同时分离并检测了苯胺灵, 杀残威和克百威 3 种氨基甲酸酯类农药以及甲基对硫磷, 乙基对硫磷, 毒虫畏 3 种有机磷类农药, 其检测限可达到 0.08~ 0.13 mg/L. Karcher 等人^[5] 在 pH = 7 的 50 mmol/L 磷酸缓冲溶液中采用毛细管区带电泳(capillary zone electrophoresis, CZE) 分离模式, 以 7-氨基萘-1, 3-二磺酸(ANDSA) 衍生, 用紫外检测器和激光诱导荧光检测器检测了氯菊酯、苯醚菊酯、氟硅菊酯、氯氰菊酯、甲氰菊酯 5 种拟除虫菊酯农药, 未衍生的条件下 2 种检测器的检测限分别为 4.5×10^{-5} mol/L 和 2.5×10^{-5} mol/L, 衍生的条件下 2 种检测器的检测限分别为 3.2×10^{-5} mol/L 和 9.3×10^{-5} mol/L. 近年来, Carmen Garcia-Ruiz 等^[6] 在 pH = 7.0, 含 20 mmol/L 的羧甲基-β-环糊精(CM-β-CD) 的 25 mmol/L Tris 缓冲溶液中, 采用 24 kV 高电压, 在 25 °C 温度下, 很好的分离了马拉硫磷、稻丰散及其对应体. Ana Juan Garcia 等^[7] 用毛细管胶束

电动色谱电泳模式, 二极管阵列检测器检测, 同时测定了莠苣、土豆、葡萄和草莓中的氟丙菊酯、联苯三唑醇、环唑醇、咯菌清、吡唑醇、腈菌唑、蚊蝇醚和戊唑醇 8 种农药, 使用的缓冲液是 $\text{pH} = 9.2$, 含有 75 mmol/L NaCl 的 6 mmol/L 十二烷基硫酸钠溶液。用固相萃取对样品进行萃取, 回收率在 $40\% \sim 106\%$ 之间, 相对标准偏差在 $10\% \sim 19\%$ 之间。

张裕平^[8]讨论了灭多威、残杀威、克百威、速灭威和西维因 5 种氨基甲酸酯类农药在十二烷基硫酸钠、胆酸钠、脱氧胆酸钠三种表面活性剂体系中, 甲醇、乙醇、正丁醇和异丁醇 4 种有机溶剂对五种氨基甲酸酯类农药的毛细管胶束电动色谱分离的影响。并从电解液的物理化学性质和毛细管电动色谱动力学两方面阐明了其影响机制。段建平等^[9]采用毛细管胶束电动色谱模式, 并选择硼酸盐溶液-SDS 缓冲体系进行分离测定。还考察了 SDS 的浓度 ($30 \sim 80 \text{ mmol/L}$) 和缓冲溶液浓度 ($5 \sim 25 \text{ mmol/L}$), pH ($6.0 \sim 9.0$) 对分离的影响, 综合考虑分离度、组分保留时间、灵敏度等因素, 选择 SDS 浓度为 80 mmol/L , 缓冲溶液浓度为 20 mmol/L , $\text{pH} = 8.0$, 同时选择分离电压为 25 kV , 对吡虫啉和吡虫清进行分离测定。该方法用于河水及蔬菜污染样品的测定, 取得了令人满意的结果。黄宝美等^[10]建立了一种测定青菜中有机磷农药敌百虫的方法, 样品以二氯甲烷提取, 活性炭脱叶绿素, 在 $\text{pH} = 6.4$, 检测电压为 13 kV , $1 \text{ mmol/L NaH}_2\text{PO}_4$ 缓冲溶液中进行毛细管电泳分离检测, 最低检出限为 $2 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$, 敌百虫浓度在 $5 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-6} \text{ mol/L}$ 之间, 呈现良好的线性关系, 样品加样回收率为 $90\% \sim 102\%$ 。张裕平等^[1]以 20 mmol/L 硼砂- 50 mmol/L 十二烷基硫酸钠 10% (体积分数) 甲醇溶液 ($\text{pH} = 9.2$) 为电泳缓冲液, 采用压力进样方式, 在 25 kV 恒压下进行分离, 并用 225 nm 紫外检测, 测定了西维因和三嗪类农药, 其最小检测限为 7.6 mg/L 。费新平等^[11]以毛细管电泳-安培检测法, 在 $5 \text{ mmol/L NaH}_2\text{PO}_4$ (NaOH 调节 $\text{pH} = 10$), 分离高压 20 kV 条件下, 对甲基对硫磷、对硫磷、西维因和速灭威农药残留进行测定研究, 测定检出限 $0.02 \sim 0.04 \text{ mg/L}$ 。

Henry III^[12]以 $\text{pH} = 9$, 添加 30 mmol/L SDS 和 25% 乙腈的 Tris 缓冲液中分离检测多种拟除虫菊酯农药。Eash 等^[13]以 $\text{pH} = 7$ 的 $20 \text{ mmol/L Na}_2\text{HPO}_4$ 缓冲液毛细管区带电泳法检测了噻菌灵。Rodriguez 等^[14]也使用毛细管区带电泳在 $\text{pH} = 3.5$

含 12 mmol/L 甲酸铵- 20 mmol/L 甲酸, 添加 2% 的甲醇缓冲溶液中分离检测噻菌灵和腐霉利。同样, Wu 等^[15]以磷酸缓冲液毛细管区带电泳检测噻螨酮、拌种灵、叶枯唑等 14 种农药。Malik 等^[16]用硼酸缓冲液分离检测了福美锌和代森锌。Sarah Y Chang 等^[17]也以毛细管电泳法检测了水、土壤和农作物中的磷酸盐、有机磷和化学战的毒性化学品。

2 除草剂

随着除草剂种类的增多, 以及很多除草剂的持久性和稳定性, 在地表水、地下水、食品以及土壤中均有发现, 因此快速、准确、简单、可靠检测方法的需要成为必然。高效液相色谱 (HPLC)、气相色谱 (GC)、薄层色谱 (TLC) 和免疫技术目前已经被广泛使用。毛细管电泳法的分离效率、检测灵敏度和自动化程度要高得多, 且分析时间和费用较低, 具有广阔的应用前景^[18]。毛细管电泳对农药残留的检测基本上主要集中在除草剂范围内, 且国外起步较早, 国内对此方面的研究比较滞后。

2.1 季铵盐类除草剂

因百草枯和敌草快是离子型除草剂, 毛细管电泳是比较适合的检测方法。关于百草枯、敌草快和野燕枯的毛细管电泳检测已有不少报道, 对这些除草剂多采用的是毛细管区带电泳的分析方法。

Kim J B 等^[19]采用 MEKC 电泳方法, 对饮用水中的百草枯和敌草快进行了定量分析。Galceran 等^[20]研究了缓冲液的 pH 值、温度、应用电压缓冲液中阳离子种类和浓度及进样模式等因素对百草枯、敌草快和野燕枯的分离影响。在另一篇文章中, Galceran^[21]等通过毛细管区带电泳 (CZE) 分离, 间接紫外检测法, 分析了水样中百草枯、敌草快、野燕枯、矮壮素和甲哌噻。除水和土壤外, 在马铃薯、血浆和尿样等基质中, 利用毛细管区带电泳检测这类除草剂也均有报道。

2.2 有机磷除草剂

用毛细管电泳法检测有机磷除草剂主要集中在草甘膦农药上。Tomita 等^[22]采用在进样之前以氨基磺酰氯对样品进行衍生处理的方法, 并在 240 nm 的紫外光下检测, 定量分析了草甘膦及其主要的代谢产物氨甲基膦酸 (AMPA), 结果发现, 此方法能完全分离各化合物并没有相互干扰的现象, 回收率比高效液相色谱要高。Cikalo 等^[23]用十四烷基三甲基溴化铵 (TTAB) 作为邻苯二甲酸盐缓冲液的添加

剂,分析了水样中草甘膦及其代谢产物氨基甲酸(AMPA). Goodwin^[24]对草甘膦和草铵膦及其分解产物的研究也有报道. Sarah Y Chang等^[25]用毛细管电泳-间接荧光检测法,在含有1 mmol/L 荧光素, pH=9.5的溶液中分析了草甘膦和草铵膦及其分解产物.

2.3 苯氧羧酸类除草剂

这类除草剂的代表品种有二甲四氯钠盐、2,4-滴丁酯等,主要用于阔叶杂草和农田、林地里的恶性杂草香附子等的防除. Jung^[26]以衍生法检测了苯甲酸除草剂,在他们的方法中添加羟基苯三唑和 di-dopropylcarbodiimide(DIC),并用5-(氨基乙酰氨基)荧光素为衍生试剂,以MEKC方法分离,用激光诱导荧光检测器检测. Mechref^[27]以7-氨基-1,3-二磺酸为衍生试剂,并用毛细管电泳-激光诱导荧光检测器(CE-LIF)检测,发现在添加有环糊精的电泳缓冲液中用7-氨基-1,3-二磺酸苯甲酸衍生的除草剂,其对映体的衍生物具有更好的手性分离效果,同时有研究表明,2,3,6-三甲基- β -环糊精对此类除草剂的对映体分离具有很好的效果,并报道两种手性烷基葡萄糖苷表面活性剂——辛基葡萄糖苷和壬基葡萄糖苷对羧酸类除草剂手性分离具有一定的作用,且分离效果受到分离系统中表面活性剂的浓度、离子强度、pH和温度等因素的影响. Wu等^[28]研究了十二烷基苯磺酸钠(SDS)、聚氧化乙烯2,3-十二烷基醚(Brij35)、十二烷基三甲基溴化铵(CTAB)等表面活性剂添加甲醇对氯代苯氧羧酸除草剂分离的影响,且发现十二烷基苯磺酸钠(SDS)和聚氧化乙烯2,3-十二烷基醚(Brij35)的联合使用具有最好的分离作用. Garrison等^[29]在pH=4.5, 50 mmol/L的醋酸盐缓冲液体系中,用毛细管区带电泳检测了2,4-二氯苯氧乙酸,2,4-滴丙酸,2-甲-4-氯丙酸和2,4,5-涕丙酸. You-zung Hsieh和 His-Ya Huang^[30]在缓冲液中添加4 mmol/L的 α -环糊精(α CD)和1 mmol/L的 β -环糊精(β CD),较好的分离了七种氯代苯氧羧酸类除草剂,在7 min内能得到很好的分离,联合G-18萃取盘富集环境水样中氯代苯氧羧酸类除草剂,其最低检测限可小于1 μ g/L.

2.4 取代脲类除草剂

此类除草剂包括非草隆、灭草隆、绿谷隆、快草隆、溴谷隆、环草隆、氟草隆、敌草隆、利谷隆、草不隆、甲氧隆、氯溴隆、绿麦隆、枯草隆、枯莠隆、酰草隆、草完隆、环莠隆等. Dinelli等^[31]在缓冲溶液中添

加表面活性剂SDS,对水样中利谷隆与异丙甲草胺进行了分离. Yehia Mechref^[32]用阳离子表面活性剂对此类除草剂进行了混合测定,以十二烷基三甲基溴化铵或葵烷基三甲基溴化铵两种阳离子表面活性剂为胶束相时,产生的分离效果最好.

2.5 三嗪类除草剂

Robert Loos^[33]分离检测了莠去津、特丁津及其分解产物,分析条件是30 mmol/L 硼酸钠30 mmol/L的SDS, pH=9.3的缓冲液或100 mmol/L 醋酸缓冲液, pH=4.6,进样量10~60 μ L, 20或25 kV电压,电泳温度30 $^{\circ}$ C, 210 nm紫外光检测. Martinez等^[34]用SDS以MEKC方法分析了水样中的草灭净、扑草净、西玛津、氰草净、莠去津和特丁津.并考察了电泳各种参数,包括进样条件、pH值、缓冲液浓度、表面活性剂浓度和应用电压对分离的影响.运用毛细管电泳检测其他的基质(如地表水样等)中三嗪类除草剂的研究也有报道^[35]. 三嗪类除草剂在环境中有着各种降解的途径,如光解、氧化、水解和生物降解等,在pH为6或4的环境中,一般会胺基上脱烷基,在pH为2的环境中,一般是水解作用,产生羟基化三嗪除草剂,这些物质在河水、湖水和井水中都有检测^[36].在很多情况下,毛细管电泳是检测三嗪除草剂降解产物的有效手段^[36].

2.6 磺酰脲类除草剂

Dinelli等^[37, 38]用毛细管区带电泳分离模式分析了自来水样中氯磺隆和甲磺隆,并考查了毛细管电泳对水中磺酰脲类除草剂9种代谢产物的分离检测,使用固相萃取富集手段,以MEKC定量分析了土壤样品中氯磺隆、氯嘧啶磺隆和甲磺隆3种此类除草剂,检测限达到10 μ g/kg.

Houda Berrada等^[39]报道了运用毛细管电泳分析检测苯脲类、磺酰脲类除草剂和苯甲酰脲类杀虫剂的研究. Javier Hernandez-Borges等^[40]用毛细管电泳质谱检测了不同种类水中三唑并嘧啶-2-磺酰胺类除草剂,包括双氯磺草胺、氯酯磺草胺、阔草清、唑磺草胺和甲氧磺草胺. Sahori Takeda等^[41]研究了杀草强、多菌灵、乙氨基苯并咪唑、噻菌灵和1,2-二氨基苯的同时分离检测条件. Hudan Safarpour等^[42]用毛细管电泳电喷雾游离质谱法检测,对井水、矿泉水和池塘水中的甲氧咪草烟进行了分析. Clavis L da Silva等^[43]用在线富集手段-毛细管电泳分离检测,分析了饮用水和蔬菜中多菌灵(苯并咪唑类)、西玛津、莠去津、扑灭津、莠灭津(三嗪类)、

敌草隆、利谷隆(脲类)、甲萘威、残杀威(氨基甲酸酯类)9种农药。M. Chicharro^[44]以毛细管区带电泳分析了氨三唑类除草剂杀草强、2-羟基莠去津以及敌菌灵降解产物。

3 结束语

尽管毛细管电泳具有进样量小的特点,但是传统的检测方法对样品的浓度要求较高,一般达不到对水中痕量农药残留不进行多倍富集而直接检测的要求。因此对高灵敏度和高准确性的检测器的开发是个重要的研究目标。近年来,新开发的检测器如荧光诱导检测器、电化学检测器、电导检测器、飞行时间质谱以及串列式质谱等对样品都有较好的灵敏性。另外,为获得较好的分离效果,毛细管电泳中的多种因素都得同步考虑,如缓冲液得配比及浓度、电泳温度、进样量、进样时间、电压以及检测方法等。毛细管电泳色谱作为气相色谱和液相色谱的补充,具有广泛得应用性,几乎可以分离除挥发性和难溶物之外的各种分子。这一点对化学工作者尤为具有吸引力,随着愈来愈多的开拓性工作的不断推进,毛细管电泳在将来的农药分析中会得到更广泛的应用^[45]。

参考文献:

- [1] 张裕平,李向军,袁倬斌,等. 毛细管电泳法分析西维因等农药[J]. 色谱,2002, 20(4): 341-344.
- [2] 蔡建荣,张东升,赵晓连. 食品中有机磷农药残留的几种检测方法比较[J]. 中国卫生检验杂志,2002, 12(6): 750-752.
- [3] Ph Schmitt, A W Garrison, D Freitag, *et al.* Capillary isoelectric focusing (CIEF) for the characterization of humic substances [J]. J Chromatography, 1997, (792): 419.
- [4] H Susse, H Muller, Fresenius J Anal Chem. Determination of phenyl-N-methylcarbamates and their hydrolysis[J]. 1995, (352): 470.
- [5] A Karcher, Z El Rassi. Capillary electrophoresis of pesticides: V. Analysis of pyrethroid insecticides via their hydrolysis products labeled with a fluorescing and UV absorbing tag for laser-induced fluorescence and UV detection[J]. Electrophoresis, 1997, (18): 1173.
- [6] Carmen Garcia-Ruiz, Gloria Alvarez-Llamas, Angel Puerta, Elisa Blanco, Alfredo Sanz-Medel and M Luisa Marina. Enantiomeric separation of organophosphorus pesticides by capillary electrophoresis: Application to the determination of malathion in water samples after preconcentration by off-line solid-phase extraction[J]. Analytica Chimica Acta, 2005, (543): 77-83.
- [7] Ana Juan-Garcia, Yolanda Picó, Guillermina Font. Capillary electrophoresis for analyzing pesticides in fruits and vegetables using solid-phase extraction and stir-bar sorptive extraction[J]. Journal of Chromatography A, 2005, (1073): 229-236.
- [8] 张裕平. 有机溶剂对氨基甲酸酯类农药分离影响的研究[D]. 合肥:中国科技大学, 2002.
- [9] 段建平,李珊,张兰. 氯化烟碱类农药的毛细管电泳在线富集与分离检测[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2003, 21(3): 254.
- [10] 黄宝美,郑妍鹏,李学谦. 毛细管电泳法测定青菜中敌百虫的残留量[J]. 分析实验室, 2004, 23: 1-3.
- [11] 费新平,王立世,张水锋. 毛细管电泳-安培检测法对甲基对硫磷、对硫磷、西维因和速灭威农药残留的测定研究[J]. 分析测试学报, 2004, 23(5): 70-73.
- [12] C W Henry III, M E McCarroll, I M Warner. Separation of the insecticidal pyrethrin esters by capillary electrochromatography [J]. J Chromatography A, 2001, (905): 319.
- [13] D T Eash, R J Bushway, J Liq. Chromatography. Herbicide and plant growth regulator analysis by capillary electrophoresis Relat [J]. Technol, 2000, (23): 261.
- [14] R Rodriguez, Y Pico, G Font, J Man Es. Analysis of thiabendazole and procymidone in fruits and vegetables by capillary electrophoresis-electrospray mass spectrometry [J]. J Chromatography A, 2002, (949): 359.
- [15] Y S Wu, H K Lee, S F Y Li. High performance chiral separation of fourteen triazole fungicides by sulfated β -cyclodextrin-mediated capillary electrophoresis [J]. J Chromatography A, 2001, (912): 171.
- [16] A K Malik, W Faubel. Capillary electrophoretic determination of zinc dimethyldithiocarbamate (Ziram) and zinc ethylenedithiocarbamate (Zineb) [J]. Talanta, 2000, 52: 341.
- [17] Sarah Y Chang, Wei-lung Tseng, Sreedhar Mallipattu, *et al.* Determination of small phosphorus-containing compounds by capillary electrophoresis [J]. Talanta, 2005, (66): 411-421.
- [18] 谢晓梅,廖敏. 毛细管电泳定量测定稻田土壤中痕量磺酰脲类除草剂残留[J]. 农药学学报, 2004, 6(2):

- 57-61.
- [19] J B Kim, E Moyano, M T Galceran, *et al.* Analysis of the herbicides paraquat, diquat and difenzoquat in drinking water by micellar electrokinetic chromatography using sweeping and cation selective exhaustive injection[J]. *J Chromatogr A*, 2002, 961:65-75.
- [20] M T Galceran, M C Carneiro, L Puignou. Comparison of capillary electrophoresis and reversed-phase ion-pair high-performance liquid chromatography for the determination of paraquat, diquat and difenzoquat [J]. *J Chromatography*, 1994, (39):581.
- [21] M T Galceran, M C Carneiro, M Diez, *et al.* Separation of quaternary ammonium herbicides by capillary electrophoresis with indirect UV detection [J]. *J Chromatogr A*, 1997 (782):289-295.
- [22] M Tomita, T Okuyama, Y Nigo, *et al.* Determination of glyphosate and its metabolite, (aminomethyl) phosphonic acid, in serum using capillary electrophoresis [J]. *J Chromatography*, 1991, (571):324.
- [23] M G Cikalo, D M Goodall, W Matthews. Analysis of glyphosate using capillary electrophoresis with indirect detection [J]. *J Chromatography A*, 1996 (745):189.
- [24] L Goodwin, M Hanna, J R Startin, *et al.* Analysis of glyphosate and glufosinate by capillary electrophoresis-mass spectrometry utilising a sheathless micro-electrospray interface [J]. *Journal of Chromatography A*, 2003 (1004):107-119.
- [25] Sarah Y Chang, Chia-hung Liao. Analysis of glyphosate, glufosinate and aminomethylphosphonic acid by capillary electrophoresis with indirect fluorescence detection [J]. *Journal of Chromatography A*, 2002, (959):309-315.
- [26] M Jung, W C Brumley. Trace analysis of fluorescein-derivatized phenoxy acid herbicides by micellar electrokinetic chromatography with laser-induced fluorescence detection [J]. *J Chromatography A*, 1995, (717):299.
- [27] Y Mechref, Z El Rassi. Capillary electrophoresis of herbicides. III. evaluation of octylmaltopyranoside chiral surfactant in the enantiomeric separation of phenoxy acid herbicides [J]. *Anal Chem*, 1996, (68):1771.
- [28] Q Wu, H A Claessens, C A Cramers. Chromatography, separation of herbicides by micellar electrokinetic capillary chromatography [J]. 1992, 33:303-308.
- [29] A W Garrison, P Schmitt, A Ketttrup. Separation of phenoxy acid herbicides and their enantiomers by high-performance capillary electrophoresis [J]. *J Chromatography A*, 1994, (688):317.
- [30] You-zung Hsieh, His-ya Huang. Analysis of chlorophenoxy acid herbicides by cyclodextrin-modified capillary electrophoresis [J]. *Journal of Chromatography A*, 1996, (745):217-223.
- [31] G Dinelli, A Bonetti, P Catzone, *et al.* Separation of sulfonylurea metabolites in water by capillary electrophoresis [J]. *J Chroma A*, 1994, (656):275.
- [32] Yehia Mechref, Ziad El Rassi. Capillary electrophoresis of herbicides II. Evaluation of alkylglucoside chiral surfactants in the enantiomeric separation of phenoxy acid herbicides [J]. *Journal of Chromatography A*, 1997, 757:263-273.
- [33] Robert Loos, Reinhard Niessner. Analysis of atrazine, terbutylazine and their N-dealkylated chloro and hydroxy metabolites by solid-phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry and capillary electrophoresis-ultraviolet detection [J]. *Journal of Chromatography A*, 1999, (835):217-229.
- [34] R C Martinez, E R Gonzalo, A I Munoz Dominguez, J Dominguez Alvarez, H Mendez. Determination of triazine herbicides in water by micellar electrokinetic capillary chromatography [J]. *J Chromatography A*, 1996, (733):349.
- [35] S Fr as, M J S nchez, M A Rodr guez. Determination of triazine compounds in ground water samples by micellar electrokinetic capillary chromatography [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2004, (503):274-278.
- [36] Donna T Eash, Rodney J Bushway. Herbicide and plant growth regulator analysis by capillary electrophoresis [J]. *Chromatography A*, 2000, (880):281-294.
- [37] G Dinelli, A Vicari, V Brandolini. Detection and quantitation of sulfonylurea herbicides in soil at the ppb level by capillary electrophoresis [J]. *J Chromatography A*, 1995, (700):201.
- [38] A J Krytinsky, D M Swineford. Determination of sulfonylurea herbicides in grains by capillary electrophoresis [J]. *J AOAC Int*, 1995, (78):1091.
- [39] Houda Berrada, Guillermina Font, Juan Carlos Molt. Determination of Urea Pesticide Residues in Vegetable, Soil, and Water Samples [J]. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 2003, (33):19-41.
- [40] Javier Hernandez-borges, Francisco J Garcia-Monte-

- longo, Alejandro Cifuentes, Miguel Ángel Rodríguez Delgado. Determination of herbicides in mineral and stagnant waters at ng/L levels using capillary electrophoresis and UV detection combined with solid-phase extraction and sample stacking[J]. *Journal of Chromatography A*, 2005, (1070): 171-177.
- [41] Sahori Takeda, Keiichi Fukushi, Kenji Chayama, *et al.* Simultaneous separation and on-line concentration of amitrole and benzimidazole pesticides by capillary electrophoresis with a volatile migration buffer applicable to mass spectrometric detection[J]. *Journal of Chromatography A*, 2004, (1051): 297-301.
- [42] Hudan Safarpour, Reza Asiaie, Stanley Katz. Quantitative analysis of imazamox herbicide in environmental water samples by capillary electrophoresis electrospray ionization mass spectrometry[J]. *Journal of Chromatography A*, 2004, (1036): 217-222.
- [43] Cláudia L da Silva, Elizabete C de Lima, Marina F M Tavares. Investigation of preconcentration strategies for the trace analysis of multi-residue pesticides in real samples by capillary electrophoresis[J]. *Journal of Chromatography A*, 2003, (1014): 109-116.
- [44] M Chicharro, A Zapardiel, E Bermejo, *et al.* Determination of 3-amino-1, 2, 4-triazole (amitrole) in environmental waters by capillary electrophoresis[J]. *Talanta*, 2003, (59): 37-45.
- [45] 张裕平, 袁倬斌. 毛细管电泳在农药分析中的应用[J]. *色谱*, 2001, 19(5): 417-422.

Application of Capillary Electrophoresis to Pesticide Residues Determining

TANG Jian-she¹; XANG Li^{1,2}

(1. Environment Engineering, Anhui Institute of Architecture and Industry, Hefei, 230022, China;

2. College of Resources and Environment, Anhui Agriculture University, Hefei, 230036, China)

Abstract: Capillary electrophoresis has the advantages with minor limitations, good of separation efficiency. The application of capillary electrophoresis methods in pesticide residues over 20 years is reviewed in this paper with 39 references. Details are given both on application of the capillary electrophoresis methods to determinate of insecticide, fungicide and herbicide. Expectation about application of the capillary electrophoresis is outlined, too.

Key words: capillary electrophoresis; pesticide; residue

Classifying number: O657.7