

超高效液相色谱-电喷雾串联质谱法同时分析 鸡肉中7种氟喹诺酮类药物残留

郭伟¹, 刘永², 刘宁^{1*}

(1. 东北农业大学食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030;
2. 黑龙江出入境检验检疫局检验检疫技术中心, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 建立了一种同时测定鸡肉中7种氟喹诺酮类药物残留的超高效液相色谱-电喷雾串联质谱确证分析方法(UPLC-ESI-MS/MS)。样品经酸化乙腈提取、正己烷脱脂和HLB固相萃取柱净化, 采用ACQUITY UPLC™ BEH C₁₈色谱柱(50 mm × 2.1 mm, 1.7 μm)分离, 以0.1%甲酸水溶液和乙腈作为流动相进行梯度洗脱, 电喷雾质谱检测, 正离子多反应监测模式进行定性和定量分析。7种药物在5~100 μg/kg范围内线性关系良好, 相关系数(r^2)均大于0.99; 以5、25、50 μg/kg 3个浓度水平进行添加回收试验, 7种药物的平均回收率在79.2%~108.6%之间, 相对标准偏差为4.2%~8.9%, 方法的检出限(LOD)为0.2~1.4 μg/kg。方法重现性好、灵敏度高、分析时间短、确证能力强, 适用于鸡肉中氟喹诺酮类药物多残留的确证检测。

关键词: 超高效液相色谱-电喷雾串联质谱; 固相萃取; 氟喹诺酮类药物; 鸡肉

中图分类号: O658 文献标识码: A 文章编号: 1000-8713(2009)04-0406-06 栏目类别: 研究论文

Simultaneous analysis of 7 fluoroquinolone residues in chicken muscle by ultra performance liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry

GUO Wei¹, LIU Yong², LIU Ning^{1*}

(1. College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Inspection and Quarantine Center, Heilongjiang Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Harbin 150001, China)

Abstract: A confirmative method of ultra performance liquid chromatography coupled with electrospray ionization tandem mass spectrometry (UPLC-ESI-MS/MS) for the simultaneous determination of 7 fluoroquinolone residues (norfloxacin (NOR), ciprofloxacin (CIP), danofloxacin (DAN), enrofloxacin (ENR), ofloxacin (OFL), sarafloxacin (SAR) and marbofloxacin (MAR)) in chicken muscle was developed. The sample was extracted with acidified acetonitrile, defatted with *n*-hexane, and purified by an HLB solid phase extraction cartridge. The UPLC separation was performed on an ACQUITY UPLC™ BEH C₁₈ column (50 mm × 2.1 mm, 1.7 μm) utilizing a gradient elution program of acetonitrile and water (containing 0.1% formic acid) as the mobile phase. The identification and quantification were achieved by using ESI-MS/MS in positive ion mode and multiple reaction monitoring (MRM). The linear ranges were from 5 to 100 μg/kg with the correlation coefficients above 0.99 for all the 7 fluoroquinolones. The average recoveries spiked at the 3 concentration levels of 5, 25, 50 μg/kg ranged from 79.2% to 108.6% with the relative standard deviations of 4.2%–8.9%. The limits of detection were 0.2–1.4 μg/kg. The method was proved to be good reproducibility, high sensitivity, rapid, reliable and suitable for the simultaneous determination of multi-residues of fluoroquinolones in chicken muscle.

Key words: ultra performance liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry (UPLC-ESI-MS/MS); solid phase extraction (SPE); fluoroquinolones; chicken muscle

* 通讯联系人: 刘宁, 博士, 教授, 主要研究方向为营养与食品安全。Tel: (0451) 55191827, Fax: (0451) 55190340, E-mail: ningliu6666@yahoo.com.cn.

基金项目: 哈尔滨市科技攻关项目(No. 2007AA6CN099).

收稿日期: 2009-01-03

氟喹诺酮类药物(fluoroquinolones ,FQs)是20世纪80年代出现的抗菌作用更强的第三代喹诺酮类药物(又称新喹诺酮)^[1]。FQs 的抗菌谱广、高效、低毒、组织穿透力强,适用于预防和治疗呼吸、消化、泌尿、生殖等系统的各种感染症,目前已广泛应用于畜禽和水产养殖业。由于饲养过程中该类药物的不合理应用,导致其残留在动物源性食品中,给人体健康造成了极大危害。欧盟、美国等已将FQs列为动物源性食品中残留的重点监控药物,并制定了最大残留限量,如恩诺沙星为100 μg/kg;日本更是规定了FQs的最大残留限量为10 μg/kg的“一律标准”^[1]。因此,建立一种灵敏度高、分析迅速和确证能力强的FQs残留检测方法具有重要的现实意义。

动物源性食品中FQs残留的检测方法,文献报道有高效液相色谱法(HPLC)^[2-5]和高效液相色谱-质谱联用法(LC-MS^[4,5],LC-MS/MS^[4-14])。目前HPLC和LC-MS/MS已成为国内外最为常用的FQs残留检测方法。随着色谱柱填料技术的发展,基于1.7 μm小颗粒技术的超高效液相色谱(UPLC)比传统的HPLC具有更高的分离能力,可以在很高的线速度、流速和反压下进行高效的分离工作,并获得满意的结果。本文采用超高效液相色谱-电喷雾串联质谱(UPLC-ESI-MS/MS),建立了一种快速检测鸡肉中7种FQs残留的确证分析方法。

1 实验部分

1.1 仪器、试剂与材料

ACQUITY Ultra Performance LCTM超高效液相色谱仪、Quattro Premier XE电喷雾串联四极杆质谱仪、Masslynx 4.1数据处理软件、Waters Oasis HLB固相萃取(SPE)柱(60 mg,3 mL)(美国Waters公司)、Milli-Q[®] Gradient超纯水净化器。

标准品:诺氟沙星(norfloxacin,NOR,纯度为98.5%)、达氟沙星(danofloxacin,DAN,纯度为96%)、恩诺沙星(enrofloxacin,ENR,纯度为98%)、环丙沙星(ciprofloxacin,CIP,纯度为98%)、麻保沙星(marbofloxacin,MAR,纯度为99%)、氧氟沙星(ofloxacin,OFL,纯度为99%)和沙拉沙星(sara-

floxacin,SAR,纯度为97.2%)均购自德国Dr. Ehrenstorfer公司。

甲醇、乙腈(HPLC级,Fisher科技公司);25%氨水等其他试剂均为分析纯;实验用水为超纯水;鸡肉样品为黑龙江正大公司冷冻分割鸡肉。

单标储备液的制备:分别精确称取各种FQs的标准品10 mg于烧杯中,加入少量乙腈并滴加适量的0.02 mol/L盐酸,待完全溶解后转移到100 mL容量瓶中,用乙腈定容至刻度,得到质量浓度为100 mg/L的单标储备液,于-20℃条件下储存备用。

混合标准储备液的制备:分别准确移取5 mL各单标储备液于同一个100 mL容量瓶中,用初始流动相(乙腈-0.1%(体积分数,下同)甲酸水溶液(体积比为10:90))定容至刻度,得到7种药物质量浓度均为5 mg/L的混合标准储备液,于-20℃条件下储存备用。

混合标准工作液的制备:准确移取一定量的混合标准储备液于容量瓶中,用初始流动相定容至刻度,逐级稀释成100,50,25,10和5 μg/L的混合标准工作液,于4℃条件下储存备用。

1.2 UPLC-ESI-MS/MS分析

1.2.1 超高效液相色谱条件

色谱柱:Waters ACQUITY UPLCTM BEH C₁₈超高效液相色谱柱(50 mm×2.1 mm,1.7 μm);柱温30℃;样品室温度30℃;进样量5 μL;流动相A:乙腈;流动相B:0.1%甲酸水溶液;梯度洗脱程序:在0.3 min内由10% A线性上升到15% A,保持2.2 min,然后在0.3 min内由15% A线性上升到95% A,保持0.4 min,最后在0.4 min内由95% A线性下降到10% A,保持0.9 min,以平衡色谱柱;流速0.250 mL/min;运行时间4.5 min。

1.2.2 质谱条件

离子源:电喷雾离子源(ESI);扫描方式:正离子(ESI⁺)扫描;检测方式:多反应监测(MRM);毛细管电压:3.0 kV;源温度:110℃;脱溶剂温度:35℃;脱溶剂气(氮气)流量:550 L/h;锥孔气(氮气)流量:50 L/h;碰撞气(氩气)流量:0.18 mL/min;光电倍增器电压:650 V。其他参数见表1。

表1 7种FQs的色谱-质谱参数

Table 1 UPLC-ESI-MS/MS parameters for 7 FQs

FQ	Retention time/min	Parent ion (<i>m/z</i>)	CV ^{a)} /V	Qualitative ion pairs (<i>m/z</i>)	CE ^{b)} /eV	Ion abundance ratio ^{c)}
MAR	1.60	363.3	30	363.3/320.3*, 363.3/345.2	15, 20	7.2:1
OFL	1.81	362.3	31	362.3/318.2*, 362.3/261.3	18, 25	1.5:1
ENR	2.56	360.3	35	360.3/316.2*, 360.3/245.2	26, 20	2.0:1
SAR	3.40	386.5	38	386.5/342.4*, 386.5/368.4	18, 22	2.4:1
DAN	2.26	358.2	35	358.2/340.2*, 358.2/314.2	23, 17	1.5:1
CIP	1.98	332.4	35	332.4/288.3*, 332.4/245.3	25, 18	1.8:1
NOR	1.82	320.3	35	320.3/276.2*, 320.3/302.2	15, 20	2.7:1

* quantitative ion; a) cone voltage; b) collision energy; c) the abundance ratio of quantitative ion to another qualitative ion.

1.3 样品前处理

1.3.1 提取

准确称取 5.00 g 鸡肉样品于 50 mL 聚丙烯离心管中,依次加入 5.00 g 无水硫酸钠、20 mL 提取液(50% 盐酸-乙腈(体积比为 1:50)),于 10 000 r/min 速率下均质提取 2 min,以 3 500 r/min 速率离心 5 min,收集上清液并转移到分液漏斗中,用 20 mL 提取液重复提取一次;合并上清液,加入乙腈饱和的正己烷 20 mL,振荡后静置分层,弃去正己烷层。剩余部分过无水硫酸钠柱于鸡心瓶中,在 50 °C 下旋转蒸发至近干,加入 5 mL 磷酸盐缓冲液(0.05 mol/L, pH = 7.4)溶解残留物,待净化。

1.3.2 净化

HLB 固相萃取柱依次用 3 mL 甲醇、3 mL 超纯水进行预处理,然后加入上样液。先用 4 mL 超纯水淋洗小柱,于负压下抽干 30 s,用氨水-甲醇(体积比为 25:75)溶液 3 mL 洗脱,收集全部洗脱液,于 50 °C 下用氮气吹至近干,用 1 mL 初始流动相定容,过孔径为 0.22 μm 有机滤膜,滤液供 UPLC-ESI-MS/MS 测定。

1.4 方法学验证

通过添加回收率试验进行方法学验证,验证的效能指标包括线性范围、回收率、精密度、检出限和

定量限,方法验证遵循欧盟 2002/657/EC 决议。

2 结果与讨论

2.1 质谱分析条件的优化

采用六通阀手动进样方式在正离子模式下分别对 7 种 FQs 的标准溶液(质量浓度为 5 mg/L)进行母离子全扫描,确定各种 FQs 的准分子离子并分别优化锥孔电压(cone voltage, CV),然后分别以其准分子离子为母离子,对其子离子进行全扫描,选择最佳子离子,同时分别优化碰撞能量(collision energy, CE)。FQs 的二级质谱中主要碎片离子有脱水离子($[M + H - H_2O]^+$)、脱羧离子($[M + H - CO_2]^+$)以及脱羧后哌嗪环断裂发生结构重排失去 C_2H_4NR 的产物离子($[M + H - CO_2 - C_2H_4NR]^+$)^[9],选择 3 种碎片离子中丰度较高的 2 种离子作为定性、定量特征离子,最大程度地提高了检测灵敏度,选取的离子对数符合欧盟 2002/657/EC 决议对兽药残留质谱确证分析的方法学要求(identification points ≥ 4)。最后以正离子多反应监测模式优化各种质谱调谐参数,结果见表 1。

由于 7 种 FQs 的相对分子质量不同,因此结合保留时间和一级、二级质谱信息(见表 1)即可进行准确性。7 种 FQs 的定量离子流色谱图见图 1。

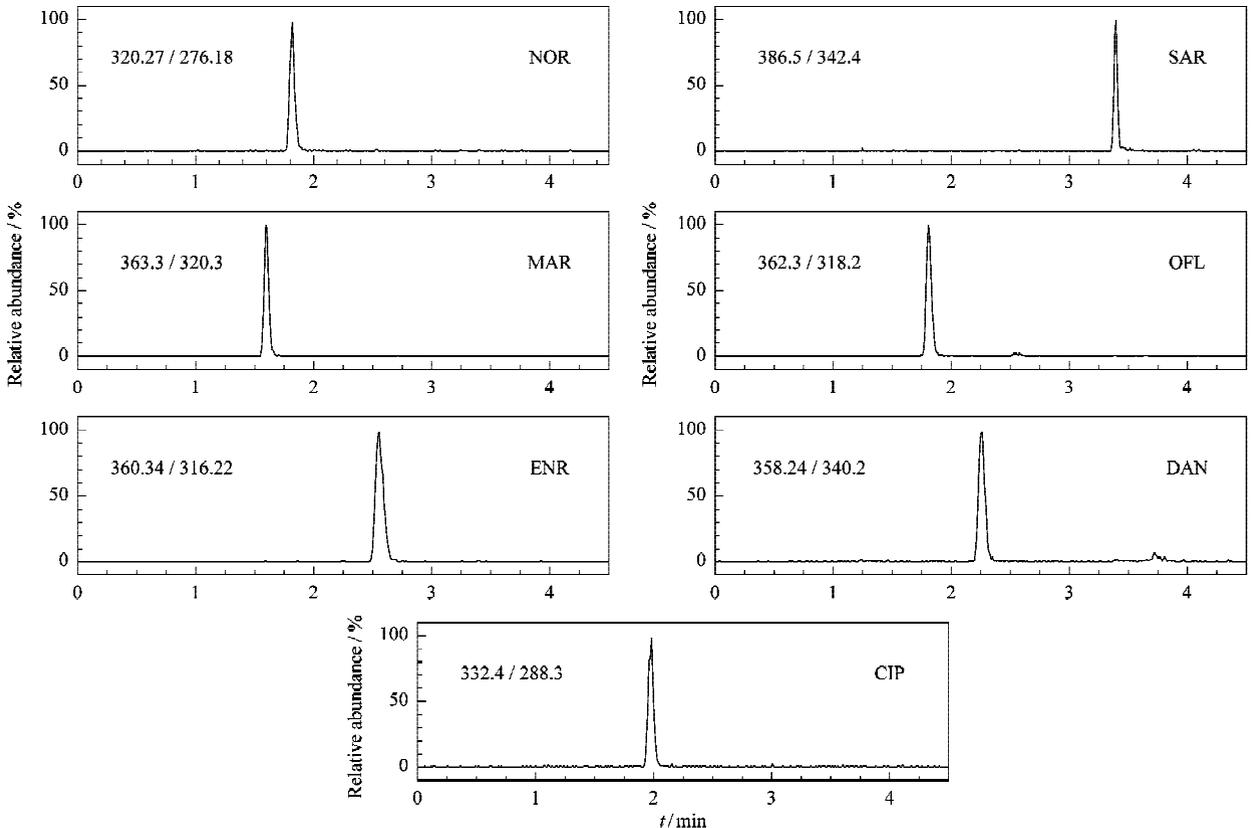


图 1 7 种 FQs 的定量离子流色谱图

Fig. 1 Quantitative ion current chromatograms of 7 FQs

2.2 色谱分离条件的优化

2.2.1 色谱柱的选择

结合 FQs 的理化性质和 UPLC 性能,分别选用基于 1.7 μm 小颗粒技术的 ACQUITY UPLC™ BEH C_8 、 C_{18} 和苯基柱 3 种色谱柱对 7 种 FQs 的分离度和灵敏度进行对比试验,结果表明,这 3 种色谱柱对 FQs 的分离效果均较好,但检测灵敏度存在很大差异。采用 C_8 和苯基柱进行分离,7 种 FQs 的检测灵敏度相对较低。采用 ACQUITY UPLC™ BEH C_{18} 柱,7 种 FQs 均具有很好的分离效果和较高的灵敏度,该柱比传统的色谱柱具有更高的分离能力。孙雷等^[6]采用 HPLC-MS/MS 检测猪肉组织中 7 种氟喹诺酮类药物残留的分析时间为 31 min,彭涛等^[11]采用反相 HPLC-MS/MS 同时测定鸡肉中 5 种喹诺酮类药物残留的分析时间为 20 min,而本文中 7 种 FQs 的分析时间仅为 4.5 min(见图 2)。

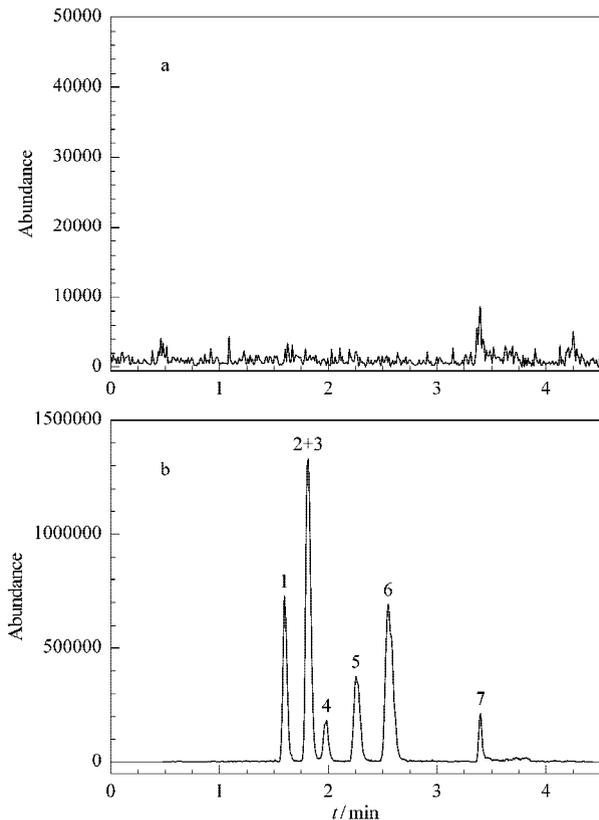


图 2 (a)空白鸡肉样品和(b)加标鸡肉样品的 MRM 色谱图

Fig. 2 MRM chromatograms of (a) a blank chicken muscle sample and (b) the chicken muscle sample spiked with 7 FQs

Peak identifications: 1. marbofloxacin; 2. ofloxacin; 3. norfloxacin; 4. ciprofloxacin; 5. danofloxacin; 6. enrofloxacin; 7. sarafloxacin.

另外,考察 ACQUITY UPLC™ BEH C_{18} 色谱柱的实验结果表明,100 mm 长柱比 50 mm 短柱的分离度更好,但灵敏度会降低,为达到最佳的检测灵敏度最后选择了 50 mm 短柱。

2.2.2 流动相的选择

FQs 为酸碱两性化合物,其解离状态随 pH 变化,因此流动相的 pH 会对 FQs 在色谱柱上的分离和保留产生显著的影响;对于电喷雾质谱的正离子模式来说,添加一定量的挥发性有机酸可促进 FQs 的离子化,提高检测灵敏度。实验发现,流动相中添加甲酸和乙酸均能显著提高 FQs 的离子化效率,增强检测的灵敏度,而且 7 种 FQs 的峰形良好。最后选择以乙腈和 0.1% 甲酸水溶液为流动相,采用梯度洗脱方式实现 7 种 FQs 的良好分离。

2.3 前处理条件的优化

2.3.1 提取条件的优化

FQs 常用的提取液一般为有机溶剂,如:甲醇、乙腈、二氯甲烷等,或有机溶剂添加一定比例的酸或碱^[1]。比较乙腈、1% (体积分数) 乙酸-乙腈和不同比例(体积比分别为 1:20, 1:50, 1:100) 的 50% 盐酸-乙腈混合液的提取效率,结果表明,50% 盐酸-乙腈(体积比为 1:50)混合液的提取效率最高,蛋白质沉淀较好,提取液澄清,浓缩比较简单,完全满足提取和后续净化的要求。对提取液采用乙腈饱和的正己烷进行初步净化,有效地去除了鸡肉组织中的类脂物,降低了基质效应的影响。

2.3.2 净化条件的优化

目前喹诺酮类药物常用的固相萃取净化方法主要采用反相和离子交换 SPE 柱。Johnston 等^[12]采用 2 步 SPE 净化方法,即先用反相聚合 SPE 柱,再用阴离子 SPE 柱。van Vyncht 等^[14]也使用了类似的净化方法,采用的是 C_{18} 和阳离子 SPE 柱。经 2 步 SPE 处理后的净化效果明显,但方法较为繁琐,对操作要求严格,重现性不易控制。

采用 Waters Oasis HLB 聚合物填料的固相萃取柱净化,同样达到了良好的净化效果,且方法简单、重现性好。实验采用超纯水作为淋洗液,氨水-甲醇(体积比为 25:75)溶液作为洗脱液,并分别做了淋洗曲线和洗脱曲线,结果表明,4 mL 淋洗液和 3 mL 洗脱液即可满足净化要求。综上所述,得到 1.3.2 节所述的净化条件。

2.4 方法学验证

2.4.1 线性范围

选用不含 7 种待测组分的空白鸡肉样品,经 1.3 节方法制备空白基质液,并分别添加 7 种 FQs 的混合标准溶液,配制 5, 10, 25, 50, 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的基质标准溶液。根据各种药物定量离子 5 次测定的平均峰面积(y)与相应药物的质量浓度(x , $\mu\text{g}/\text{kg}$)进行线性回归,绘制基质匹配标准曲线,经 Masslynx 4.1 软件分析处理后,7 种 FQs 的线性回归方程见表 2。

表 2 7 种 FQs 的线性回归方程及相关系数(r^2)($n = 5$)
Table 2 Linear regression equations and correlation coefficients (r^2) of 7 FQs ($n = 5$)

FQ	Standard calibration curve		Matrix-matched calibration curve*	
	linear regression equation	r^2	linear regression equation	r^2
NOR	$y = 52.7x - 84.7$	0.9992	$y = 41.4x - 92.5$	0.9996
CIP	$y = 71.9x - 194.7$	0.9994	$y = 56.2x - 129.8$	0.9994
DAN	$y = 135.7x - 403.9$	0.9988	$y = 128.5x - 369.9$	0.9991
ENR	$y = 384.5x - 1185.0$	0.9991	$y = 338.6x - 1096.0$	0.9995
OFL	$y = 400.6x - 1104.7$	0.9989	$y = 266.8x - 645.1$	0.9997
MAR	$y = 290.4x - 54.0$	0.9992	$y = 248.9x - 509.3$	0.9994
SAR	$y = 116.2x - 237.7$	0.9997	$y = 86.6x - 137.9$	0.9995

* Matrix-matched calibration curve was constructed by spiking 7 FQs into the extracts of blank chicken muscle. y : mean peak area of quantitative ion ($n = 5$); x : concentration of FQ ($\mu\text{g}/\text{kg}$).

2.4.2 回收率、精密度及检出限

选用不含 7 种待测组分的空白鸡肉样品,分别添加 5、25 和 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 3 个浓度水平的 7 种 FQs 的混合标准溶液,按建立的方法处理样品,分析测定并计算回收率和精密度,测得平均回收率($n = 5$)在 79.2% ~ 108.6% 之间,相对标准偏差(RSD)为 4.2% ~ 8.9%(见表 3)。

表 3 7 种 FQs 的添加回收率、精密度和检出限(LOD)($n = 5$)
Table 3 Spiked recoveries, precision and limits of detection (LOD) for 7 FQs ($n = 5$)

FQ	Spiked/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Recovery/%	RSD/%	LOD* / ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
NOR	5	92.4	8.2	0.9
	25	87.3	5.7	
	50	92.6	6.2	
CIP	5	104.3	7.1	0.3
	25	93.2	4.2	
	50	94.1	4.8	
DAN	5	98.6	7.3	1.4
	25	88.4	4.7	
	50	90.2	4.3	
ENR	5	79.2	8.9	1.0
	25	85.4	6.4	
	50	86.3	6.3	
OFL	5	108.6	4.9	0.2
	25	93.4	5.2	
	50	92.1	4.5	
MAR	5	101.3	5.5	1.2
	25	90.5	6.2	
	50	89.4	5.9	
SAR	5	92.1	6.1	0.3
	25	95.4	5.8	
	50	94.9	4.7	

* $S/N = 3$.

该方法在测定标准添加回收率时的最低添加量为 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$,各种 FQs 的信噪比(S/N)均大于 10,并且具有较好的回收率,故确定各 FQs 的定量限为 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$;以 3 倍 S/N 计算方法的检出限,7 种 FQs 的回收率、精密度及检出限(LOD)见表 3。与普通的液相色谱-串联质谱法相比,本文所建立的方法具有更高的灵敏度。刘芃岩等^[7]用 HPLC-ESI-MS/

MS 同时测定鸡肉中残留的磺胺类和氟喹诺酮类兽药,方法的定量限在 3.68 ~ 22.85 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间;岳振峰等^[9]用 HPLC-MS/MS 测定动物组织中的 16 种喹诺酮类药物残留,测定低限为 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

2.4.3 基质效应的消除

大气压电喷雾离子源质谱分析容易受生物样品基质的影响,样品基质对离子化有非常强的抑制或促进作用,影响定量分析,因此如何消除基质效应成为电喷雾离子源质谱分析的关键^[15]。

比较 7 种 FQs 的标准校正曲线和基质匹配校正曲线的斜率(见表 2),发现前者的斜率均高于后者,表明基质效应对方法检测的灵敏度影响很大^[16],因此为了得到可靠的定量结果,须采用基质匹配校正曲线进行定量分析,使标准溶液和样品溶液具有相同的离子化条件,从而消除生物样品中基质效应对 FQs 定量测定的影响。

2.4.4 实际样品的确证分析

对高效液相色谱检测呈阳性的 13 份鸡肉组织样品进行确证分析,其中 1 份鸡肉组织样品被检出含有环丙沙星,采用基质匹配校正曲线进行定量,其含量为 6.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$,其他无 FQs 检出。

3 结论

采用 UPLC-ESI-MS/MS 同时测定动物源性食品中的 FQs 残留,能够提供 FQs 的一级和二级质谱信息,丰富了 FQs 的定性依据,有效避免了假阳性检出的发生;进行方法的基质效应验证时,发现鸡肉基质对 FQs 测定的影响较大,须采用基质匹配校正曲线进行定量分析。与普通的液相色谱串联质谱法相比,该方法分析迅速、灵敏度高、重现性好、确证能力强,能满足国内外对 FQs 残留确证分析的要求,适用于动物源性食品中 FQs 残留的确证检测。

参考文献:

[1] Li J S, Qiu Y M, Wang C. Analysis of veterinary drug residues. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publish-

- ers(李俊锁,邱月明,王超. 兽药残留分析. 上海:上海科学技术出版社),2002:2
- [2] Zhao S J, Li C, Jiang H Y, et al. Chinese Journal of Analytical Chemistry(赵思俊,李存,江海洋,等. 分析化学), 2007, 35(6):786
- [3] Christodoulou E A, Samanidou V F, Papadoyannis I N. J Chromatogr B, 2007, 859:246
- [4] Clemente M, Hermo M P, Barrón D, et al. J Chromatogr A, 2006, 1135:170
- [5] Hermo M P, Nemetlu E, Kir S, et al. Anal Chim Acta, 2008, 613:98
- [6] Sun L, Zhu X L, Liu Q, et al. Chinese Journal of Veterinary Drug(孙雷,朱馨乐,刘琪,等. 中国兽药杂志), 2008, 42(3):12
- [7] Liu P Y, Jiang N, Wang Y F, et al. Chinese Journal of Chromatography(刘芃岩,姜宁,王英峰,等. 色谱), 2008, 26(3):348
- [8] Hoof N V, Wasch K D, Brabander H D, et al. Anal Chim Acta, 2005, 529:265
- [9] Yue Z F, Lin X Y, Tang S B, et al. Chinese Journal of Chromatography(岳振峰,林秀云,唐少冰,等. 色谱), 2007, 25(4):491
- [10] Du Z X, Sun S Q. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society(杜振霞,孙姝琦. 质谱学报), 2007, 28(4):219
- [11] Peng T, Yong W, An J, et al. Chinese Journal of Analytical Chemistry(彭涛,雍炜,安娟,等. 分析化学), 2006, 34(S1):10
- [12] Johnston L, Mackay L, Croft M. J Chromatogr A, 2002, 982:97
- [13] Li Z Q, Ni M L, Yu X J, et al. Chinese Journal of Instrumental Analysis(李佐卿,倪梅林,俞雪钧,等. 分析测试学报), 2007, 26(4):508
- [14] van Vyncht G, Jánosi A, Bordin G, et al. J Chromatogr A, 2002, 952:121
- [15] Matuszewski B K, Constanzer M L, Chavez-Eng C M. Anal Chem, 2003, 75(13):3019
- [16] Koesukwiwat U, Jayanta S, Leepipatpiboon N. J Chromatogr A, 2007, 1140:147

《色谱技术丛书——亲和色谱方法及应用》

于世林 编著 定价:45元 2008年8月出版

本书是《色谱技术丛书》中专门介绍亲和色谱方法的分册。书中对亲和色谱方法的特点、适用范围、亲和固定相的制备方法及实验技术作了较全面的介绍。在固定相和配位体各章、节,较详细地介绍了载体活化、间隔臂偶联,配位体键合制备亲和固定相的具体操作方法、化学反应的基本过程、分析测定实例、重要的参考文献。全书共分13章,包括亲和色谱法基础、流动相、固定相、染料配位体、定位金属离子配位体、包含配合物配位体、电荷转移配位体等。对共价、分子印迹、疏水作用三类亲和配位体也予以较详细地介绍。

化学工业出版社 供稿