

高效液相色谱-串联质谱法测定能力验证肉粉中四环素类抗生素残留量

盘正华, 辛丽娜, 黄燕红, 陆柔, 蒋定之*

(广西-东盟食品药品安全检验检测中心, 南宁 530021)

摘要: **目的** 优化肉粉样品中四环素类药物的高效液相色谱-串联质谱检测方法。**方法** 采用 80%乙腈-水溶液提取肉粉样品中的四环素类药物, Prime HLB 固相萃取小柱净化, 洗脱液用氮气吹至近干, 用 10%乙腈水溶液(含 0.2%甲酸)溶解, 采用多反应监测正离子模式(multiple reaction monitoring, MRM)进行高效液相色谱-串联质谱仪测定。**结果** 与国标方法 GB/T 21317-2007(HLB 固相小柱萃取法)相比, 4 种药物的线性范围均在 5~200 $\mu\text{g/L}$ 时线性良好($r > 0.99$), 回收率差异不显著($P > 0.05$)。实验室方法测得的含量分别为: 四环素 113.93 $\mu\text{g/kg}$, 金霉素 68.16 $\mu\text{g/kg}$, 多西环素 155.73 $\mu\text{g/kg}$, 土霉素未检出; 回收率为四环素 94.5%, 金霉素 95.2%, 多西环素 104.7%, 土霉素 97.8%。测得四环素、金霉素、多西环素、土霉素线性相关系数 r 分别为: 0.9995、0.9998、0.9989、0.9997。**结论** 本实验室方法简单快速, 回收率高, 重现性好, 适用于熟肉制品中四环素类药物的多残留检测。

关键词: 四环素类抗生素; 高效液相色谱-串联质谱法; 残留量

Determination of 4 kinds of tetracycline antibiotics in meat powder samples from food analysis performance assessment scheme by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

PAN Zheng-Hua, XIN Li-Na, HUANG Yan-Hong, LU Rou, JIANG Ding-Zhi*

(Guangxi and Asean Inspection Testing Center for Food and Drug Safety, Nanning 530021, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS) method for determination of tetracycline in meat powder samples. **Methods** The samples were extracted by the solution of 80% acetonitrile and the extracts were cleaned-up on Prime HLB solid phase extraction column, and the eluent which got from above conditions was dried nearly by nitrogen-blow, and dissolved in the solution of 10% acetonitrile (include 0.2% formic acid). Finally, the samples were detected by HPLC-MS/MS with multiple reaction monitoring (MRM) mode. **Results** Compared to GB/T 21317-2007 (HLB solid phase extraction column method), the results showed that 4 kinds of tetracyclines had good linear relationships in the range of 5-200 $\mu\text{g/L}$ with correlation coefficients were better than 0.99. *The recovery difference was not significant ($P > 0.05$)*. The residues of tetracycline, chlortetracycline, and doxycycline were 113.93, 68.16, and 155.73 $\mu\text{g/kg}$, and oxytetracycline was not detected. The recoveries of tetracycline, chlortetracycline, doxycycline and oxytetracycline were 94.5%, 95.2%, 104.7%, 97.8%, respectively. The correlation coefficients of tetracycline, chlortetracycline,

*通讯作者: 蒋定之, 硕士, 主管药师, 主要研究方向为食品药品安全检测。E-mail: 4556260@qq.com

*Corresponding author: JIANG Ding-Zhi, Master, Pharmacist, Guangxi and Asean Inspection Testing Center for Food and Drug Safety, No.9, Qinghu Road, Qingxiu District, Nanning 530021, China. E-mail: 4556260@qq.com

doxycycline, and oxytetracycline were 0.9995, 0.9998, 0.9989, and 0.9997, respectively. **Conclusion** The established methods is simple and rapid, which can be used as the detection method of tetracycline antibiotics in meat products.

KEY WORDS: tetracycline antibiotics; high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; residues

1 引言

四环素类抗生素(tetracycline antibiotics, TCs)是四环素作为人类和动物临床上广泛使用的广谱抗生素, 氢化并四苯环衍生物是它们共有的化学结构, 由放线菌属产生。TCs 作为广谱抗生素, 在人类和动物临床上广泛使用, 它对革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌以及立克次氏体等均有较好的抑制作用^[1], 加之使用成本低, 使其能在当今的畜禽养殖中得以普遍使用。TCs 在动物肌肉、内脏等食物中的残留, 能对食用人群产生不良的健康影响甚至可以致病, 因此, 许多国家对 TCs 残留实施监控^[2-6]。我国农业部第 235 号公告规定了四环素类抗生素的最高限量^[7]。

近年来, 部分视经济利益为第一的畜禽养殖者们将 TCs 广泛加于饲料中, 用于促进畜禽生长和防治其肠道感染, 导致 TCs 使用剂量不断提高, 部分不良商贩更是高剂量使用 TCs。抗生素在畜禽生产中的使用量越大, 组织中残留的抗生素量就越大, 致使四环素类抗生素在禽肉食品内残留问题严重。因此, 建立高灵敏度、准确可靠的分析方法非常必要。

目前, 现有的抗生素类检测方法有共振散射光谱法^[8]、高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)^[9,10]、生物传感器适配法^[11]、放射免疫法^[12]以及液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)^[13-15]。其中检测动物组织中四环素类抗生素残留的国家标准主要有农业部 1025 号公告-12-2008^[13]、GB/T 21317-2007^[14] 国标中采用 EDTA-McIlvaine 缓冲溶液为提取溶液, 该提取方法较复杂, 用时较长。

本文为简化检验操作步骤, 针对国标中提取方法做了改进, 结合超高效液相色谱-串联质谱联用技术, 同时测定肉粉中的 4 种四环素类药物, 以期能简化前处理步骤, 为更高效地完成肉类中四环素类抗生素的检测提供参考。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

肉粉样品由 FAPAS 提供。

甲醇、乙腈(色谱纯, 德国默克股份两合公司); 乙酸乙酯(色谱纯)、柠檬酸($C_5H_8O_7 \cdot H_2O$, 分析纯)、磷酸氢二钠($Na_2H_3PO_4 \cdot 12H_2O$, 分析纯)、乙二胺四乙酸二钠

($Na_2EDTA \cdot 2H_2O$, 分析纯)、四环素盐酸盐(含量以 97.9%计)、金霉素盐酸盐(含量以 94.6%计)、盐酸强力霉素(含量以 96.5%计)(德国 Dr.Ehrenstorfer GmbH 公司); 土霉素(含量以 88.8%计, 中国食品药品检定研究院); OASIS HLB 固相萃取柱 (200 mg, 6 mL)、OASIS prime HLB 固相萃取柱 (500 mg, 6 mL, 美国 Waters 公司); CAPCELL PAK C_{18} MGIII-H(2.0 mm \times 100 mm, 5 μ m, 日本 SHISEIDO 公司)。

2.2 仪器与设备

ExionLC TRIPLE QUAD 4500 高效液相色谱联用三重四极杆质谱仪(美国 AB SCIEX 公司); XS250DU 电子天平(瑞士梅特勒-托利多公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 标准品储备液配制

四环素类抗生素(4种)混合标准溶液(10 μ g/mL): 分别称取约 0.01 g(精确至 0.1 mg)标准品置于 10.0 mL 棕色容量瓶中, 用甲醇溶解并定容至刻度, 各标准储备液浓度为 1 mg/mL, -20°C 保存, 有效期 12 个月。将以上各标准储备液用甲醇稀释, 配成各组分浓度为 10 μ g/mL 的混标溶液。

2.3.2 标准曲线及标准工作曲线的制备

GB/T 21317-2007: 分别量取混合标准溶液适量, 用流动相配制成 L1~L7 标准曲线溶液。

实验室方法: 分别称取 2.5 g 猪肉空白样品, 依次加入混合标准溶液适量, 其余操作同 2.3.4 样品前处理方法, 最终得到 Q1~Q7 标准工作曲线溶液。

2.3.3 色谱及质谱条件

(1) 色谱条件

色谱柱: CAPCELL PAK C_{18} MGIII-H(2.0 mm \times 100 mm, 5 μ m); 根据目标成分的极性性质, 选择的流动相组成为水和乙腈, 并对其洗脱比例进行优化。

(2) 质谱条件

离子化模式: 电喷雾电离正离子模式(electrospray ionization, ESI+); 质谱扫描方式: 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM); 气帘气(curtain gas, CUR): 10 psi; 离子化电压: 5500 V; 离子源温度: 550 $^\circ\text{C}$; 喷雾气: 50 psi。其余质谱条件见表 1, 其相应的标准溶液质谱图见图 1。

2.3.4 样品前处理

(1) GB/T 21317-2007 法提取: 称取试样 2.00 g, 置于 50 mL 离心管中, 分别用 20、20、10 mL 0.1 mol/L EDTA-McIlvaine 缓冲溶液冰水浴超声提取 3 次, 每次旋涡

混合 1 min, 超声提取 10 min, 低温离心 5 min, 合并上清液, 并定容至 50 mL, 混匀, 低温离心 5 min, 用快速滤纸过滤, 待净化。

表 1 四环素类兽药残留量检测的质谱条件

Table 1 The mass spectrometry condition for determination of tetracyclines

分析物	母离子/子离子 (<i>m/z</i>)	去簇电压 /V	碰撞电压 /V	碰撞室出口电压 /V
四环素	445.2/410.1	72	27	16
	445.2/427	72	19	16
	445.2/154	72	25	16
金霉素	479.1/444.1	81	30	14
	479.1/462.1	81	25	14
	479.1/154	81	30	14
多西环素	445/154	97	40	5
	445/428	97	26	16
	445/410	97	30	16
土霉素	461.2/426.1	71	27	16
	461.2/443.1	71	19	16
	461.2/381	71	25	16

净化: 准确吸取 10 mL 提取液过已活化的 HLB 固相萃取柱, 待样液完全流出后, 依次用 5 mL 水和 5 mL 甲醇+水(1:19, V:V)淋洗, 弃去全部流出液。减压干燥 5 min, 最后用 10 mL 甲醇+乙酸乙酯(1:9, V:V)洗脱。将洗脱液氮吹浓缩至干(温度低于 40 °C), 用 1.0 mL 10%乙腈水溶液(含 0.2%甲酸)溶解残渣, 过 0.22 μm 滤膜, 外标法定量。

(2) 实验室方法提取: 称取试样 2.50 g, 置于 50 mL 离心管中, 准确加入 10 mL 80%乙腈水溶液, 超声提取 10 min, 低温离心 5 min, 取上清液待净化。

净化: 上清液过 prime HLB(6 mL, 500 mg)固相萃取柱, 收集 4 mL 净化溶液, 45 °C 氮吹至近干, 用 1.0 mL 10%乙腈水溶液溶解残渣, 过 0.22 μm 滤膜, 外标法定量。

2.3.5 加标回收率实验

GB/T 21317-2007 法: 分别称取 2.0 g 空白样品, 于 50 mL 离心管中, 分别加入含量为 100 μg/kg 的混标液, 其余操作同 2.3.4(1), 外标法定量。

实验室方法: 分别称取 2.5 g 空白样品, 于 50 mL 离心管中, 分别加入含量为 100 μg/kg 的混标液, 其余操作同 2.3.4(2), 外标法定量。

3 结果与分析

3.1 色谱条件的优化结果

在流动相中调节溶剂的组成和配比如溶剂的极性、离

子强度、pH 等, 能够使各个组分在适宜的条件下得到分离, 并获得最佳的离子化效率。由于四环素类抗生素易溶于乙腈和甲醇, 实验分别选择两者作为强洗脱流动相时, 乙腈的分离效果较好。而在水相中加入甲酸是为了提高电离效应, 增加目标物的响应值, 实验还比较了乙腈-0.1%甲酸水、乙腈-0.2%甲酸水和 0.05%甲酸乙腈-0.2%甲酸水作为流动相时四环素类抗生素的离子化效率, 结果显示 0.05%甲酸乙腈-0.2%甲酸水作为流动相时灵敏度较高。即: 对色谱条件进行优化后, 所得的结果为: A 相: 水(0.2%甲酸)、B 相: 乙腈(0.05%甲酸); 流速: 0.3 mL/min; 柱温: 35 °C; 进样量: 5 μL。梯度洗脱, 洗脱程序见表 2。

表 2 流动相洗脱程序

Table 2 Gradient elution program

时间/min	A/%	B/%
0	90	10
1	90	10
7	10	90
10	10	90
10.5	90	10
14	90	10

根据洗脱程序及表 1 的质谱条件对 4 种四环素类抗生素的标液进行液相-质谱联用分析, 得到的各成分的离子色谱图如图 1。

3.2 线性关系

采用国标方法及本方法分别对标准曲线进行分析, 实验结果显示, 2 种方法线性范围均为: 5~200 μg/L, 标准曲线线性良好, 相关系数 *r* 均在 0.99 以上, 不同方法各成分的回归方程及相关系数见表 3。

3.3 检测结果

待测样品分别用 2.3.4(1)及 2.3.4(2) 2 种方法处理后, 经高效液相色谱-质谱联用仪分析后, 所得各待测成分结果及相对标准偏差见表 4, 从表 4 中数据可知, 4 种成分中, 检出 3 种, 其中土霉素未检出; 方差分析结果显示, 2 种方法同时检测 4 种成分, 结果差异不显著($P > 0.05$), 结果见表 5。

3.4 回收率结果

称取待测样品, 按照 2.3.5 加入对照品, 再分别用 2.3.4(1)及 2.3.4(2)处理, 作为加标回收实验。所得回收率和标准偏差见表 6。从表中结果可看出, 金霉素 2 种方法回收率的相对标准偏差相对较大, 国标方法回收率相对降低, 主要原因可能为金霉素存在较强的基质抑制作用。

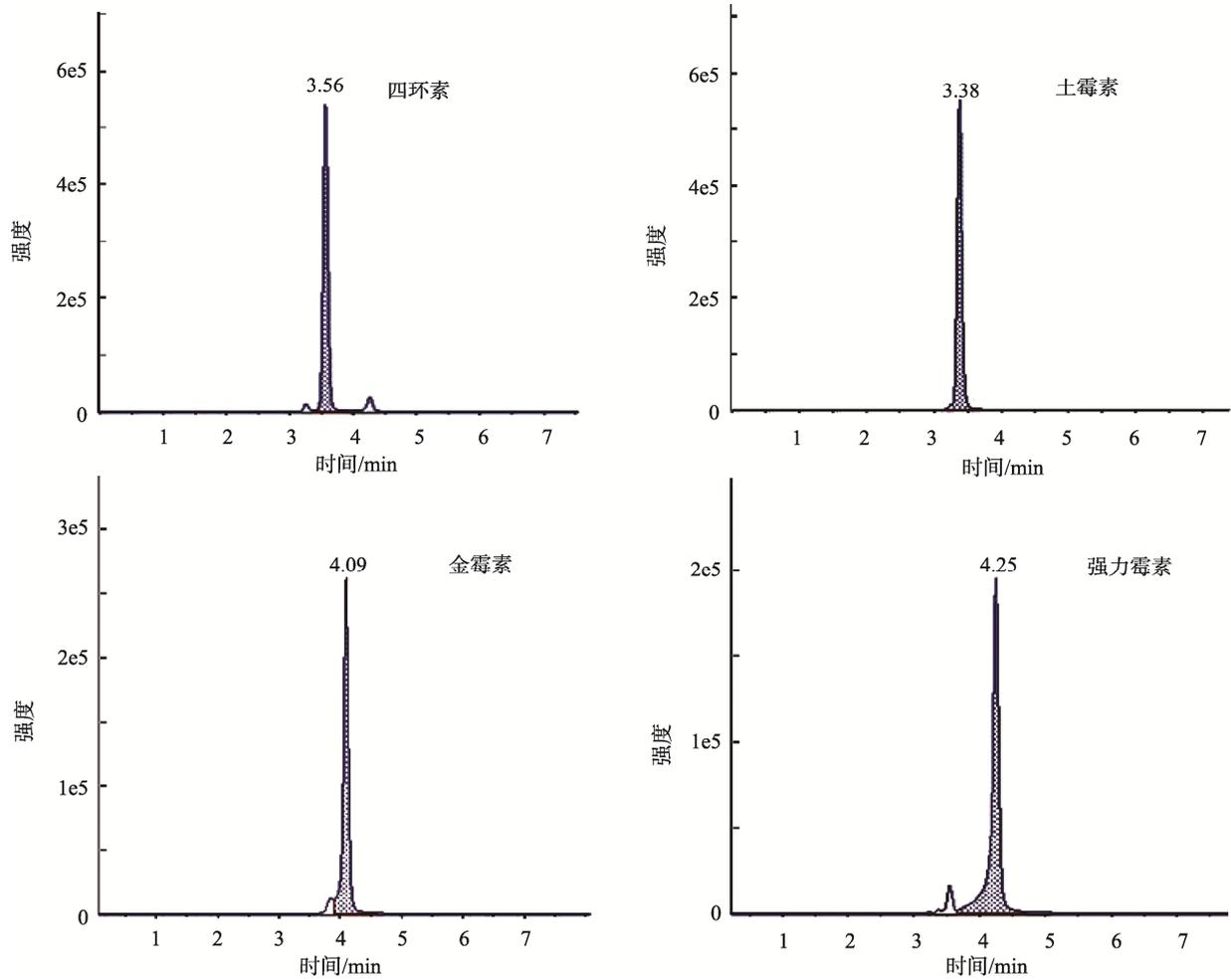


图 1 4 种四环素类抗生素的提取离子色谱图(标准溶液浓度为 100 μg/L)
Fig.1 Extracted ion chromatograms of 4 kinds of TCs in solution at 100 μg/L

表 3 2 种方法的线性方程及相关系数
Table 3 Linear relationships and correlation coefficients of 4 kinds of TCs by two methods

测定成分	GB/T 21317-2007		实验室方法	
	线性方程	r	线性方程	r
四环素	$Y=3.10e4X-5015$	0.9995	$Y=20230X-9827$	0.9955
金霉素	$Y=17445X-1390$	0.9998	$Y=7629X-4415$	0.9948
多西环素(强力霉素)	$Y=1626X-68.43$	0.9989	$Y=6965X-2245$	0.9970
土霉素	$Y=24904X-2095$	0.9997	$Y=17289X+666.8$	0.9977

注: Y: 分析物峰面积; X: 浓度, μg/L。

表 4 2 种方法测定 4 种四环素类药物结果对比
Table 4 Results of 4 kinds of TCs in two methods

测定成分	GB/T 21317-2007/(μg/kg)			实验室方法/(μg/kg)			2 种方法精密度/%
	1	2	3	1	2	3	
四环素	113.33	114.46	113.77	113.98	114.91	112.91	0.11
金霉素	67.54	68.12	66.51	68.09	67.19	69.21	1.09
多西环素(强力霉素)	154.7	154.8	155.1	155.98	154.98	156.23	1.17
土霉素	0	0	0	0	0	0	0

注: 结果为折算回收率后的结果。

表5 方差分析结果
Table 5 The results of variance analysis

成分	结果均值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)		5%显著水平
	GB/T 21317-2007	实验室方法	
四环素	113.85	113.93	a
金霉素	67.39	68.16	a
多西环素(强力霉素)	154.9	155.73	a
土霉素	未检出	未检出	a

注: ①结果为折算回收率后的结果。②a 代表差异性不显著。

表6 2种方法测定4种四环素类药物回收率对比
Table 6 Recoveries of 4 kinds of TCs by two methods

测定成分	GB/T 21317-2007	实验室方法	2种方法标准偏差/%
	回收率/%	回收率/%	
四环素	81.92	94.5	8.9
金霉素	64.98	95.2	21.4
多西环素(强力霉素)	89.02	104.7	11.1
土霉素	102.1	97.8	3.0

4 讨论与结论

4.1 讨论

四环素类抗生素能够抑制细菌的生长, 已有相关报道表明^[6], 四环素和蛋白质有较强的结合作用。对于动物源性食品, 国标采用 EDTA-McIlvaine 缓冲溶液为提取溶液, 采用流动相配制标准曲线进行定量。而采用 EDTA-McIlvaine 缓冲溶液提取能使蛋白质快速变性, 但同时也可能由于提取液中存在的螯合物导致 HLB 小柱堵塞, 截留部分药物而影响回收率。

Prime HLB 固相萃取小柱是在水可浸润性填料 HLB 基础上进行了改良, 可以吸附样品中非极性干扰物而不影响目标物的回收率, 主要去除蛋白、盐、磷脂等基质干扰物, 利用了 HLB 的水可浸润性和保留特性, 在净化前不需要经过平衡而直接进样, 减少前处理步骤及时间。实验室方法通过对提取溶剂的比例, 不同 prime HLB 柱容量考察后, 结果显示当 80%乙腈水溶液作为提取液, prime HLB(6 mL, 500 mg)固相萃取柱净化时, 目标化合物能更好地与其他干扰物质分离, 萃取效率最高。

4.2 结论

为进一步优化熟肉制品中四环素类药物的检测方法, 本文尝试采用 prime HLB 固相小柱萃取联合超高压液相色谱-串联质谱技术对熟肉制品中四环素类药物含量进行实验测定。并与国标方法 GB 21317(HLB 固相小柱萃取法)

相比, 2种不同方法, 4种药物的线性范围均在 5~200 $\mu\text{g}/\text{L}$ 时线性良好, 含量检测结果、回收率及检出限均差异不显著($P>0.05$), 但本方法简单、快捷, 有效提高了实验的效率和可操作性。

通过实验室法测得的含量、回收率及检出限结果分别为: 含量为四环素 113.93 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 金霉素 68.16 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 多西环素 155.73 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 土霉素未检出; 回收率为四环素 94.5%, 金霉素 95.2%, 多西环素 104.7%, 土霉素 97.8%。测得四环素、金霉素、多西环素、土霉素线性相关系数 r 分别为: 0.9995、0.9998、0.9989、0.9997。由此可见, 该方法简单快速, 回收率高, 重现性好。

目前国标方法多采用 EDTA-McIlvaine 缓冲溶液为提取溶液, 耗时长, 提取过程损失较大, 回收率偏低, 本文通过改进前处理步骤, 实现了测定肉类中四环素、金霉素、土霉素、强力霉素等 4 种抗生素的残留量方法研究。该方法简单、快捷, 精密度和重现性好, 提高了实验效率及操作性, 适用于熟肉制品中四环素类药物的多残留检测。

参考文献

- [1] 卢运战, 祁克宗, 朱良强. 四环素类药物残留检测方法研究进展[J]. 家禽科学, 2006, (10): 36-39.
Lu YZ, Qi KZ, Zhu LQ. Advances in detection methods of tetracyclines residues [J]. Poult Sci, 2006, (10): 36-39.
- [2] 熊方永, 张英, 向虹霖, 等. 猪肾中三种四环素类抗生素的残留量及降解性研究[J]. 江西化工, 2018, (1): 39-42.
Xiong FY, Zhang Y, Xiang HL, et al. Residues and degradation of three

- tetracyclines in pig kidney [J]. *Jiangxi Chem Ind*, 2018, (1): 39–42.
- [3] 秦俊梅, 熊华焯, 李兆君. 施用含四环素类抗生素鸡粪对玉米生长的影响及其残留特征[J]. *灌溉排水学报*, 2018, 37(9): 24–30.
Qin JM, Xiong HY, Li ZJ. Effects of chicken manure containing tetracycline antibiotics on maize growth and residue characteristics [J]. *J Irrigat Drain*, 2018, 37(9): 24–30.
- [4] 张婧, 潘娟, 严凤, 等. 基于 PRiME HLB 前处理技术的鸡蛋中四环素类药物的快速筛选方法研究[J]. *中国兽药杂志*, 2018, 52(3): 55–60.
Zhang J, Pan J, Yan F, *et al.* Prime HLB based effective screening method for tetracyclines in eggs [J]. *Chin J Vet Med*, 2018, 52(3): 55–60.
- [5] 玛尔江·巴哈提别克, 薛云云, 王彦, 等. 应用加压毛细管电色谱技术检测鸡蛋中四环素类兽药残留的研究[J]. *中国抗生素杂志*, 2011, 36(7): 536–539.
Maerjiang BHTBK, Xue YY, Wang Y, *et al.* Pressurized capillary electrochromatography for analysis of tetracyclines insecticides in egg [J]. *Chin J Antibiot*, 2011, 36(7): 536–539.
- [6] 朱秀辉, 曾巧云, 解启来, 等. 广州市北郊蔬菜基地土壤四环素类抗生素的残留及风险评估[J]. *农业环境科学学报*, 2017, 36(11): 2257–2266.
Zhu XH, Zeng QY, Xie QL, *et al.* Residues and risk assessment of tetracycline antibiotics in soil of vegetable base in northern suburb of Guangzhou city [J]. *J Agric Environ Sci*, 2017, 36(11): 2257–2266.
- [7] 农业部. 中华人民共和国农业部公告第 235 号[Z]. 2002-12-24.
Ministry of Agriculture. No.235 bulletin of the ministry of agriculture of the People's Republic of China [Z]. 2002-12-24.
- [8] 单展, 范晶晶, 马小龙, 等. 三元离子缔合物测定牛奶中的四环素残留[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(7): 233–236.
Shan Z, Fan JJ, Ma XL, *et al.* Determination of tetracycline residues in milk by ternary ion association complex [J]. *Food Ferment Ind*, 2017, 43(7): 233–236.
- [9] 张英, 丁健桦, 向虹霖, 等. 离子液体-分散液液液微萃取/高效液相色谱法用于猪肾脏中 3 种四环素类抗生素的检测[J]. *分析测试学报*, 2017, 36(11): 1352–1356.
Zhang Y, Ding JH, Xiang HL, *et al.* Detection of 3 tetracycline antibiotics in pig kidneys by ionic liquid dispersive liquid liquid microextraction coupled with high performance liquid chromatography [J]. *J Instrum Anal*, 2017, 36(11): 1352–1356.
- [10] 张美金, 林峰, 林海丹, 等. 饲料中四环素类药物含量的高效液相色谱测定[J]. *分析测试学报*, 2007, 26(6): 918–920.
Zhang MJ, Lin F, Lin HD, *et al.* Determination of tetracyclines in feed by high performance liquid chromatography [J]. *J Instrum Anal*, 2007, 26(6): 918–920.
- [11] 王赛. 基于核酸适配体传感器的蜂蜜中四环素残留快速检测方法研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2017.
Wang S. Rapid detection of tetracycline residues in honey based on nucleic acid adaptor sensor [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2017.
- [12] 林杰, 黄晓蓉, 郑晶, 等. 放射免疫法快速检测猪尿样中的四环素类药物残留[J]. *饲料工业*, 2009, 30(15): 45–47.
Lin J, Huang XR, Zheng J, *et al.* Rapid detection of tetracyclines residues in pig urine by radioimmunoassay [J]. *Feed Ind*, 2009, 30(15): 45–47.
- [13] 司文帅, 董茂锋, 张其才, 等. 液相色谱串联质谱法检测双孢蘑菇培养料中四环素类药物残留[J]. *食用菌学报*, 2017, 24(3): 63–67.
Si WS, Dong MF, Zhang QC, *et al.* Detection of tetracyclines residues in agaricus bisporus cultures by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Edib Fung* 2017, 24(3): 63–67.
- [14] 农业部. 中华人民共和国农业部公告第 1025 号[Z]. 2008-04-29.
Ministry of Agriculture. No.1025 Bulletin of the ministry of agriculture of the People's Republic of China [Z]. 2008-04-29.
- [15] GB/T 21317-2007 动物源性食品中四环素类兽药残留量检测方法 液相色谱-质谱/质谱法与高效液相色谱法[S].
GB/T 21317-2007 Determination of tetracyclines residues in food of animal origin-LC-MS/MS method and HPLC method [S].

(责任编辑: 武英华)

作者简介



盘正华, 硕士, 主管药师, 主要研究方向为食品药品安全检测。

E-mail: pantuzi1982@163.com



蒋定之, 硕士, 主管药师, 主要研究方向为食品药品安全检测。

E-mail: 4556260@qq.com