

# 水产品中氯霉素药物残留检测方法研究进展

汤轶伟, 励建荣\*, 孟良玉, 钟克利, 徐永霞

(渤海大学化学化工与食品安全学院, 渤海大学食品研究院, 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁 锦州 121013)

**摘要:** 氯霉素(CAP)是一种禁止在水产品养殖中应用的酰胺醇类抗生素类药物。该药物杀菌广谱但残留在水产品中的CAP会对人体健康造成严重损害。本文主要从样品前处理技术和水产品中CAP残留检测方法两方面进行阐述, 分析各种检测方法的特点并进行展望, 以期为我国水产品中CAP残留进行更有效的检测和监管提供一定的技术支持。

**关键词:** 氯霉素; 水产品; 样品前处理; 检测方法

## Research Progress in Detection Methods of Chloramphenicol Residues in Aquatic Products

TANG Yi-wei, LI Jian-rong\*, MENG Liang-yu, ZHONG Ke-li, XU Yong-xia

(Food Safety Key Laboratory of Liaoning Province, Food Science Research Institute of Bohai University, College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

**Abstract:** Chloramphenicol (CAP) belongs to amphenicol antibiotics, which has been banned in aquaculture. It is a broad-spectrum fungicide, but the residues of CAP in aquatic products are very harmful to human health. In the present study, detection methods and sample pretreatment techniques are summarized and analyzed. We hope it will provide technical supports to promote more effective CAP residual detection and supervision of aquatic products.

**Key words:** chloramphenicol; aquatic products; sample pretreatment; detection methods

中图分类号: TS201.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)11-0333-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201311070

氯霉素(chloramphenicol, CAP)又叫左旋霉素, 是一种用于治疗伤寒、脑膜炎和尿路感染等疾病的酰胺醇类抗生素类药物, 其结构式见图1, 该药物能有效抑制炭疽杆菌、肺炎球菌、链球菌、李斯特菌、葡萄球菌以及衣原体、立克次氏体等病原微生物。由于CAP杀菌广谱, 我国自20世纪80年代开始用于水产品养殖病害防治过程中。毒理学研究表明, CAP对人体具有较大的毒副作用, 主要表现为: 抑制骨髓造血功能, 引起再生障碍性贫血、细胞减少性贫血、血小板减少和粒状白细胞减少<sup>[1]</sup>。另外, 该药物理化性质极为稳定, 可通过食物链在人体内蓄积, 从而对人体健康造成严重损害。CAP对人类健康的危害已引起国际组织和多个国家或地区的高度重视, 中国、美国、欧盟、韩国、日本等都已对该药物在水产品中的残留做出了禁用和不得检出的规定。

为了保证人体健康和有效监管水产品质量安全, 综述和分析当前水产品中CAP药物残留检测方法具有重要意义。本文将从样品前处理方法和水产品中CAP残留检

测方法两方面进行详细阐述, 以期对保证水产品安全提供一定的技术保证。

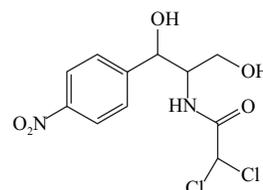


图1 氯霉素结构式

Fig.1 Structure of chloramphenicol

## 1 样品前处理方法

样品前处理是指样品的制备和对样品中的待测目标物进行提取、净化以及浓缩富集的过程, 目的是消除基质影响, 提高检测方法的灵敏度、准确度和选择性<sup>[2]</sup>。常用的样品前

收稿日期: 2012-06-19

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD29B06); 渤海大学博士启动基金项目(BSQD2011023); 辽宁省高校重大科技平台“食品贮藏加工及质量安全控制工程技术研究中心”与“辽宁省食品安全重点实验室”开放课题资助项目(LNSAKF2011021)

作者简介: 汤轶伟(1981—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为食品安全与检测方法。E-mail: tangyiwei81@163.com

\*通信作者: 励建荣(1964—), 男, 教授, 博士, 研究方向为果蔬、水产品贮藏加工与质量安全控制。E-mail: lijr6491@yahoo.com.cn

处理方法有：液液萃取(liquid-liquid extraction, LLE)、索氏提取、柱层析技术、凝胶色谱、固相萃取(solid-phase extraction, SPE)和超临界流体萃取(supercritical fluid extraction, SFE)等方法。液液萃取通常对极性较低的物质具有较好的选择性、净化效果好、操作过程简单，但对极性较高的化合物分配系数不能满足要求。索氏提取是用溶剂长时间浸润样品将目标物提取出来的方法，此法耗时、溶剂用量大、效率低。柱层析技术、凝胶色谱和SPE 3种方法类似，需要手工将填料装入萃取管中，过程繁琐，主要使用的填料有C<sub>18</sub>、硅胶、氧化铝、硅酸镁和弗罗里硅土等，对于CAP常利用C<sub>18</sub>净化。超临界流体萃取是一种新型高效提取方法，该方法在一定压力和温度条件下进行，具有有机溶剂用量少，萃取剂(CO<sub>2</sub>)稳定、无毒、不污染环境，分离和富集自动化能减少人为误差等优点。

### 1.1 样品制备和提取

水产品中CAP检测主要以鱼类和虾类为主，样品采集后在0~5℃条件下送样，-18℃以下冷冻保存，取鱼、虾的肌肉部分作为检测部位<sup>[3]</sup>。根据CAP的理化性质，水产品中CAP提取方法多采用乙酸乙酯<sup>[4-5]</sup>溶剂或乙酸乙酯-氨水混合溶剂<sup>[6]</sup>萃取。

### 1.2 净化和浓缩富集

样品提取过程中，与待测目标物结构或化学性质相近的干扰物质常常被一起提取出来，这些物质可能对检测仪器的稳定性和检测结果的准确性产生影响。所以，需要根据检测方法的要求对提取液进行净化处理。

水产品肌肉组织中的脂类会随CAP提取过程一起提取出来，故要对提取液进行脱脂净化。目前，主要净化和浓缩富集的方法步骤为：将原始提取液蒸干，然后用甲醇<sup>[7]</sup>或水-乙腈<sup>[8]</sup>溶解提取物，再用正己烷脱脂，最后经C<sub>18</sub>柱净化富集后经检测方法进行定性或定量检测。Liu Wenlin等<sup>[9]</sup>优化了SFE方法对虾中CAP的提取，该方法以乙酸乙酯为夹带剂，CO<sub>2</sub>为萃取剂，15min完成提取过程，为其他水产品中CAP残留的快速提取奠定了基础。液-液萃取和传统的固相萃取是利用待测物的物理化学性质达到分离、净化、富集的目的，方法操作简单但没有特异性。所以对一些较为复杂的样品，传统的分离方法很难将干扰物质有效分离。以分子印迹聚合物为填料的固相萃取柱能特异吸附目标物，可最大程度净化待测物，提高检测结果的准确性。梁冰<sup>[10]</sup>、唐仕荣<sup>[11]</sup>等分别采用沉淀聚合和本体聚合方法制备了CAP分子印迹聚合物，为发展新型水产品CAP残留检测方法的样品前处理奠定了基础。

## 2 检测方法

食品中CAP检测方法主要包括：微生物法、免疫分

析法、色谱分析法、电化学分析法、生物芯片检测技术<sup>[12]</sup>等。近年来，随着水产品食品中所占比例的日趋增加和人们对水产品质量安全的高度重视，水产品中CAP残留检测分析方法的研究取得了较快发展。

### 2.1 发光细菌法

发光细菌与外来毒物接触后会对发光细菌细胞代谢产生影响，进而影响细菌的发光强度。发光细菌法就是利用发光细菌的发光强度或抑菌圈的大小与毒物浓度之间的关系来定量或定性分析样品中毒物浓度的新型检测方法，该方法操作方便、灵敏度高、检测快速。

Shakila等<sup>[4]</sup>利用*Photobacterium leiognathi* L-2发光细菌建立了平板法检测虾肌肉组织中CAP残留的新方法。结果显示在最优条件下，CAP含量为100μg/kg时，抑菌圈直径为23.0mm，含量为1μg/kg时，抑菌圈直径为9.3mm；虾肌肉组织中的CAP添加含量为1~100μg/kg时，回收率可达95.63%。该方法通过观察抑菌圈的大小来判断虾肌肉组织中的CAP残留状况，测定结果直观，适合基层检测和初步筛选。但是该方法不能对CAP残留进行精确定量，检测结果也易受其他抗生素类药物的影响。为了实现利用发光细菌精确定量水产品中CAP残留的目的，文献[13-14]从青岛近海分离出对CAP敏感的鳃发光杆菌*Photobacterium leiognathi* YL，通过控制菌体起始发光强度、菌液与氯霉素作用时间，建立了发光细菌检测水产品中CAP体系。结果显示，检测的最佳条件为菌体起始发光强度在(2.0~4.0)×10<sup>5</sup>cd、菌液与氯霉素的最佳作用时间为30min，该条件下所建立方法的线性范围为0.1~1.0ng/mL，在鱼肉的CAP加标回收(0.1~1.0ng/g)实验中，回收率在40.34%~114.26%。该方法能定量分析鱼肉中CAP残留，且检出限将至0.1ng/mL，大大促进了微生物检测CAP残留方法的发展。

### 2.2 色谱和色谱-质谱联用技术

随着接口技术的成熟，色谱-质谱联用技术逐渐应用于水产品CAP药物残留分析中。该技术既保留了色谱的高分离能力、高分析速度、高灵敏度，又结合了质谱对化合物的强结构鉴定能力，提高了检测的选择性和灵敏度。然而因色谱-质谱联用仪价格昂贵而限制了该方法在一般实验室的普及应用。

我国国家标准GB/T 22338—2008《动物源性食品中氯霉素类药物残留量测定》<sup>[15]</sup>规定了水产品中氯霉素类(CAP、氟甲砜霉素和甲砜霉素)残留的气相色谱-质谱(GC-MS)和液相色谱-质谱/质谱(HPLC-MS/MS)的测定方法。GC-MS法的样品用乙酸乙酯提取，4%氯化钠溶液和正己烷液-液分配净化，经Florisil柱净化后，以甲苯为反应介质，用N,O双(三甲基硅基)三氟乙酰胺-三甲基氯硅烷于70℃烷基化，用气相色谱/负化学电离源质谱测定，内标工作曲线法定量，对CAP的检出限为0.1μg/kg；HPLC-

MS/MS法的样品用饱和乙腈正己烷提取,提取液用LC-Si固相萃取柱进行净化,CAP采用内标法定量分析,对CAP的检出限为0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。另外,我国国家标准BG/T 20756—2006《可食动物肌肉、肝脏和水产品中氯霉素、甲砒霉素和氟苯尼考残留量的测定》、GB/T 22959—2008《河豚鱼、鳗鱼和烤鳗中氯霉素、甲砒霉素和氟苯尼考残留量的测定》、农业部781号公告-2—2006《动物源食品中氯霉素残留量的测定》,出入境检验检疫行业标准SN/T 1864—2007《进出口动物源食品中氯霉素残留量的检测方法》也对水产品中CAP残留的HPLC-MS检测方法做了相关规定。

为了节省检测时间,将样品净化处理同检测仪器联用是目前研究的热点。Lu Yanbin等<sup>[16]</sup>建立了海龟中氯霉素药物残留的基质固相分散-高效液相色谱-质谱(MSPD-HPLC-MS/MS)联用快速检测方法。该方法中的样品净化装置(核壳型 $\text{C}_{18}$ 硅胶柱)与检测仪器联用,在多反应检测(MRM)定量模式条件下对CAP进行检测。最优条件下该方法的线性范围0.01~100 $\text{ng}/\text{mL}$ ,日内和日间的变异系数(RSD)分别为2.05%~8.33%和3.05%~10.17%,4个水平(1、5、7.5、10 $\text{ng}/\text{g}$ )样品的添加回收率在92.05%~98.07%之间( $\text{RSD}\leq 4.20\%$ )。该检测方法在线富集和净化CAP,回收率高、重现性好,并提高了检测效率,为缩短仪器检测方法中样品处理时间奠定了基础。

与GC-MS联用方法相比,HPLC-MS方法无需对CAP进行衍生化,可以缩短总检测时间。李资玲等<sup>[8]</sup>建立了快速测定鱼肉中CAP残留的HPLC-MS测定方法。样品中的CAP残留用乙酸乙酯提取浓缩,正己烷脱脂净化后,用反相液相色谱分离,采用外标法使用HPLC-MS方法定量分析。最优条件下方法的线性范围为0.04~1.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $R^2=0.9999$ ),3个添加水平范围(0.10、0.20、0.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ )内的回收率为91.0%~100.1% ( $\text{RSD}: 2.6\%\sim 4.1\%$ ),检测限为0.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限为0.02 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

超高效液相色谱具有更快的分析速度、更高的分辨率和灵敏度。张小军等<sup>[5]</sup>建立了水产品中CAP残留的超高效液相色谱-串联四极杆质谱(UHPLC-MS)法测定方法。样品中CAP用乙酸乙酯提取,正己烷脱脂或固相萃取柱净化后,采用同位素内标法UHPLC-MS定量分析。方法在0.05~1.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 的添加范围内平均回收率为84.9%~103.3% ( $\text{RSD}$ 为3.2%~5.2%),定量检测限为0.02 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。该方法适用于各种水产品基质的氯霉素残留检测。为了满足超痕量CAP残留检测的需要,慧慧等<sup>[17]</sup>研究了虾中CAP残留的UHPLC-MS/MS检测方法。提取样品中CAP药物的乙酸乙酯蒸干后用蒸馏水溶解残渣,Oasis HLB柱净化,洗脱液氮气吹干后用流动相定容后,采用UHPLC-MS/MS测定。结果显示该方法对虾肉中CAP残留的最低检测限为0.1 $\text{ng}/\text{L}$ ,是目前水产品中CAP残留

检测限最低的检测方法。

我国水产行业标准SC/T 3018—2004《水产品中氯霉素残留量的测定》<sup>[18]</sup>规定了水产品中CAP残留的GC测定方法。标准规定样品经乙酸乙酯提取并浓缩,提取物溶于水,用正己烷脱脂, $\text{C}_{18}$ 固相萃取柱净化,硅烷化试剂衍生化后,用配有电子捕获检测器的气相色谱仪测定,外标法定量,方法的检测限为0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。我国农业部958号公告-13—2007《水产品中氯霉素、甲砒霉素、氟甲砒霉素残留量的测定 气相色谱法》也规定了水产品中CAP残留的GC检测方法。气相色谱法-电子捕获检测器(GC-ECD)检测方法是CAP测定的经典方法。王锋等<sup>[7]</sup>在建立虾中CAP残留的GC-ECD检测方法中,通过改进虾样品的前处理方法(增加提取时间和超声波辅助手段)来提高方法的检测结果,表明方法的检测限可达0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限达到0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,在一定程度上改善了检测结果。我国农业部958号公告-14—2007《水产品中氯霉素、甲砒霉素、氟甲砒霉素残留量》<sup>[19]</sup>规定了水产品中CAP等3种氯霉素类药物残留的GC-MS检测方法。标准规定试样中残留的CAP以乙酸乙酯超声波提取,正己烷液-液萃取去脂,固相萃取柱净化,硅烷化衍生后用GC-MS测定,方法的检出限为0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。为了改善GC-MS检测方法、缩短检测时间,Liu Wenlin等<sup>[9]</sup>建立了虾中CAP、氟苯尼考和甲砒霉素3种氯霉素类药物残留的SFE原位衍生(NCI)GC-MS检测方法。该方法以SFE为样品提取方法,结果显示SFE提取方法的线性范围为20~5000 $\text{pg}/\text{g}$ ,检测限为8.7~17.4 $\text{pg}/\text{g}$  ( $\text{RSD}\leq 15.3\%$ )。SFE提取方法缩短了虾中CAP提取和衍生时间,是一种快速、自动化程度高的检测方法。

### 2.3 免疫分析法

酶联免疫吸附分析方法具有简单、快速、灵敏和花费低等特点,包括板式检测、试纸条检测和仪器免疫法等,常被用于水产品中CAP药物的快速检测方法的建立。

我国农业部1025号公告-26—2008《动物源食品中氯霉素残留检测酶联免疫吸附法》<sup>[20]</sup>规定了使用酶联免疫吸附测定鱼和虾中CAP残留的筛选检验方法。标准规定鱼、虾中的CAP使用乙酸乙酯提取,再用正己烷除杂,然后进行测定,方法的检出限为50.0 $\text{ng}/\text{kg}$ 。该标准从样品提取到检测结束最多需要3h,是一种灵敏度高并且快速的筛选方法。

谭慧等<sup>[21]</sup>建立了水产品中CAP残留的间接酶联免疫检测(ELISA)方法。结果显示该方法的检测限为0.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,样品在2个添加水平(0.5、2.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ )的回收率分别为72%~116%和86%~108%,该方法适用于水产品中CAP残留的快速检测。马玲等<sup>[22]</sup>为了缩短检测时间,在常规两步式化学发光酶免疫法(CLEIA)基础上,同时加入一抗和二抗,优化了包被条件、竞争反应时间的实验参数,建立了一步

式CAP检测方法; 最优条件下, 该方法的最低检测限为 $0.01\mu\text{g/L}$ , 与常规两步法相比, 可缩短检测时间1.5h, 更符合快速检测的要求。王玮<sup>[23]</sup>利用胶体金标记快速检测技术对氯霉素药物残留快速检测方法进行了系统研究, 建立了渗透式和层析式两种金标记免疫竞争快速筛选方法。该方法以CAP与固相膜上的包被原(CAP-OVA)竞争结合金标记抗CAP多克隆抗体, 通过胶体金显色达到快速检测样品中CAP残留的目的。结果显示, 渗透式试纸条检出限为 $0.8\mu\text{g/L}$ 、层析式试纸条的检出限为 $1\mu\text{g/L}$ 。在对鱼和虾样品的实际测定中亦表现出良好特性, 该方法能在10min内显示测定结构, 并可通过颜色的变化进行半定量测定, 是目前食品安全快速检测常用的方法之一。张灿等<sup>[24]</sup>建立了CAP残留的毛细管电泳免疫分析法。该方法对CAP检测的线性范围为 $0.008\sim 5\mu\text{g/L}$ , 最低检测限为 $0.0016\mu\text{g/L}$ , 实际样品鱼肉的检测限为 $0.035\mu\text{g/L}$ 。毛细管电泳免疫分析方法结合了免疫分析的特异性和毛细管电泳快速高效分离分析的优势, 具有检测结果直观的优点。

#### 2.4 磁减量检测法

磁减量检测法(immunomagnetic reduction, IMR)是利用带有生物探针的纳米磁珠与待测物分子结合后, 使磁珠聚集变大变重, 再通过测定纳米磁珠磁性大小的改变情况, 进而得出待测物分子浓度的新型检测方法。与传统的免疫分析法相比, 该方法免洗、操作简单、特异性好且只需要一种抗体<sup>[25-26]</sup>。

Yang等<sup>[6]</sup>首次建立了虾中CAP残留的免疫磁珠磁减量检测方法。该方法以表面带有CAP抗体的磁性纳米粒子为探针(图2), 样品中的CAP与探针上的CAP抗体结合后改变纳米磁珠的大小、质量, 从而影响纳米磁珠的磁交流信号。结果表明该方法操作简单, 不易受基质影响, 检测限可达 $0.1\mu\text{g/L}$ , 其中的纳米磁珠既能在样品提取液中特异吸附目标物, 又是检测信号的目标物, 是一种简单、准确、有效的新型检测方法。

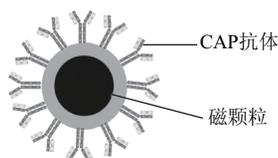


图2 CAP磁性纳米粒子探针示意图

Fig.2 Schematic of magnetic nanoparticle with antibody against CAP

#### 2.5 传感器检测法

传感器检测方法是检测方法研究的热点。按照检测原理的不同, 可以分为: 荧光传感器<sup>[27]</sup>、光化学传感器<sup>[28]</sup>、化学传感器<sup>[29]</sup>、电化学传感器<sup>[30]</sup>、表面等离子共振传感器<sup>[31]</sup>等。但是, 传感器检测方法的低重现性问题依然有待解决。

张丽君等<sup>[32]</sup>结合分子印迹技术和传感器技术建立了检测CAP的分子印迹电化学传感器方法。该方法以邻苯基酚

为功能单体, CAP为模板分子, 通过电化学聚合方法在Pt电极上制备CAP分子印迹聚合物(MIP)膜, 并以此为修饰电极优化实验条件。结果表明在最优条件下, 该方法对CAP检测的线性范围为 $4.33\times 10^{-8}\sim 3.09\times 10^{-6}\text{mol/L}$ , 检出限为 $2.5\times 10^{-8}\text{mol/L}$ 。该研究为水产品中CAP残留的电化学检测方法的建立奠定了基础。分子印迹电化学传感器具有操作简便、灵敏度高和特异性好等优点, 然而制备性能一致的分子印迹Pt电极难度较大, 这是限制该方法推广应用的瓶颈所在。武会娟等<sup>[33]</sup>利用pH敏感型荧光指示剂F1300可以量化ATP合成酶的特点, 建立了快速检测CAP残留的纳米生物传感器。结果显示, 该方法的检测限为 $1\times 10^{-11}\text{mg/mL}$ , 检测时间仅需35min, 具有较好的应用前景。Chullasat等<sup>[34]</sup>建立了虾中CAP残留电阻型免疫传感器检测方法。与其他修饰方法的传感器相比, 免疫传感器具有更宽的线性范围为 $(0.50\sim 10)\times 10^{-16}\text{mol/L}$ 和更低的测定限。重复性实验表明该传感器能重复使用45次(RSD<4%); 实际样品(虾)中CAP残留检测结果与HPLC方法相符。Sun等<sup>[35]</sup>建立了实时检测样品中CAP的石英晶体微量天平(QCM)传感器检测方法。该研究以电纺技术(electrospinning)将纤维状的聚苯乙烯膜嫁接到QCM电极表面, 然后用金覆盖电极, 再用抗CAP抗体修饰电极表面。结果显示, 该检测方法的线性范围为 $5\sim 100\mu\text{g/L}$ , 能在2~3s内得出检测结果。

### 3 结语

我国已成为世界淡水养殖规模最大、水产消费市场容量最大的国家。水产品中CAP残留可能对我国的水产品贸易及消费者的身体健康带来严重的影响。所以, 研究CAP残留检测方法具有重要的现实意义。仪器法和免疫检测法是水产品中CAP残留检测和筛查的常用方法。仪器检测法具有高效、灵敏、准确的特点, 但是需要昂贵的实验仪器和复杂的样品前处理, 不适合现场快速检测的需要; 免疫分析法操作方便、检测时间短, 能满足现场快速检测的需要, 但是免疫分析法易受环境条件影响产生假阳性结果。所以, 针对上述问题, 今后水产品中CAP残留检测方法的研究可以从以下几方面深入探索: 1)建立简单、有效、自动化程度高的提取方法, 减少样品提取和净化步骤, 降低由于样品处理步骤繁琐和人为因素造成的检测误差, 提高检测结果的准确性、一致性, 降低检测方法的检出限; 2)研制小型、便携式检测仪器, 促进仪器检测方法的应用简便性和降低仪器检测方法的成本; 3)分子印迹聚合物具有类似生物抗体的识别特性, 被称为“塑料抗体”, 研究代替CAP生物抗体的分子印迹聚合物仿生抗体建立仿生免疫分析方法, 可能是降低免疫分析中出现假阳性结果机率的方法之一。

## 参考文献:

- [1] 韩伟涛, 曹建亭, 张志, 等. 酶联免疫法检测水产品中氯霉素含量[J]. 中国水产, 2006(2): 57-58.
- [2] 唐英章. 现代食品安全检测技术[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 6.
- [3] 刘丽丽. 酶联免疫法(ELISA)检测水产品中氯霉素残留量的影响因素及控制方法[J]. 齐鲁渔业, 2010, 27(2): 7-9.
- [4] SHAKILA J R, SARAVANAKUMAR R, VYLA S, et al. An improved microbial assay for detection of chloramphenicol residues in shrimp tissues[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8: 515-518.
- [5] 张小军, 郑斌, 李铁军, 等. 超高效液相色谱-串联四极杆质谱法测定水产品中氯霉素残留量[J]. 分析实验室, 2010, 29(6): 115-118.
- [6] YANG S Y, HO C S, LEE C L, et al. Immunomagnetic reduction assay on chloramphenicol extracted from shrimp[J]. Food Chemistry, 2012, 131: 1021-1025.
- [7] 王锋, 谢芳, 周红杰, 等. GC检测虾中氯霉素残留的研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(2): 129-131.
- [8] 李资玲, 黄优生, 熊向源, 等. HPLC-ESI-MS/MS快速测定鱼肉中的氯霉素残留[J]. 广东农业科学, 2010(7): 217-219.
- [9] LIU Wenlin, LEE R J, LEE M R. Supercritical fluid extraction *in situ* derivatization for simultaneous determination of chloramphenicol, florfenicol and thiamphenicol in shrimp[J]. Food Chemistry, 2010, 121: 797-802.
- [10] 梁冰, 李慧馨, 李璐, 等. 含水溶剂中沉淀聚合法制备氯霉素分子印迹聚合物及其吸附性能研究[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2010, 42(6): 172-175.
- [11] 唐仕荣, 刘全德, 刘辉, 等. 氯霉素分子印迹聚合物中模板分子的洗脱方法[J]. 徐州工程学院学报: 自然科学版, 2011, 26(3): 68-71.
- [12] 李卓, 董文宾, 李娜, 等. 食品中氯霉素残留检测技术研究新进展[J]. 食品工业科技, 2010(4): 408-411.
- [13] 朱兰兰, 林洪, 王静雪, 等. 利用发光细菌进行褐牙鲆中氯霉素残留快速检测的研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(10): 155-159.
- [14] 王亚群, 王静雪, 林洪, 等. 发光细菌法检测水产品中氯霉素体系的建立[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(1): 66-70.
- [15] 中华人民共和国国家标准GB/T 22338—2008动物源性食品中氯霉素类药物残留量测定[EB/OL]. (2008-09-01) [2012-06-10]. <http://down.foodmate.net/d/search.php?n=1&mod=do&keyword=GB/T 22338-2008>.
- [16] LU Yanbin, ZHENG Tinglu, HE Xin, et al. Rapid determination of chloramphenicol in soft-shelled turtle tissues using on-line MSPD-HPLC-MS/MS[J]. Food Chemistry, 2012, 134: 533-539.
- [17] 慧慧, 杨林华. 虾肉中氯霉素的UPLC/MS-MS检测方法研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(9): 136-139.
- [18] 冷凯良, 李兆新, 李晓川, 等. SCT/T 3018—2004 水产品中氯霉素残留量的测定气相色谱法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [19] 中国人们共和国国家标准农业部958号公告-14—2007水产品中氯霉素、甲砜霉素、氟甲砜霉素残留量[EB/OL]. (2007-12-18) [2012-06-16]. <http://down.foodmate.net/standard/sort/9/18046.html>.
- [20] 中国人们共和国国家标准农业部1025号公告-26-2008动物源食品中氯霉素残留检测 酶联免疫吸附法[EB/OL]. (2008-04-29) [2012-06-10]. <http://wenku.baidu.com/view/0fa881130b4e767f5acfceee.html>.
- [21] 谭慧, 麦琦. 酶联免疫分析法测定水产品中氯霉素残留量[J]. 中国卫生检验杂志, 2010, 20(7): 1649-1650.
- [22] 马玲, 关忠谊, 吴健敏, 等. 氯霉素残留一步式化学发光酶免疫法的建立[J]. 南方农业学报, 2011, 42(2): 205-208.
- [23] 王玮. 氯霉素残留快速检测胶体金试纸条的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2008.
- [24] 张灿, 马海乐, 王辉, 等. 氯霉素毛细管电泳免疫分析方法研究[J]. 食品科学, 2010, 31(8): 146-149.
- [25] HONG C Y, WU C C, CHIU Y C, et al. Magnetic susceptibility reduction method for magnetically labeled immunoassay[J]. Applied Physics Letters, 2006, 88: 2125121-2125123.
- [26] HONG C Y, CHEN W H, JIAN Z F, et al. Wash-free immunomagnetic detection for serum through magnetic susceptibility reduction[J]. Applied Physics Letters, 2007, 90: 741051-741053.
- [27] MA Q J, LI H P, YANG F, et al. A fluorescent sensor for low pH values based on a covalently immobilized rhodamine-naphthalimide conjugate[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2012, 166: 68-74.
- [28] AKSUNER N, HENDEN E, YILMAZ I, et al. A novel optical chemical sensor for the determination of nickel (II) based on fluorescence quenching of newly synthesized thiazolo-triazol derivative and application to real samples[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2012, 166: 269-274.
- [29] MEHTA S K, KHUSHBOO, UMAR A. Highly sensitive hydrazine chemical sensor based on mono-dispersed rapidly synthesized PEG-coated ZnS nanoparticles[J]. Talanta, 2011, 85: 2411-2416.
- [30] WANG T Y, SHANNON C. Electrochemical sensors based on molecularly imprinted polymers grafted onto gold electrodes using click chemistry[J]. Analytica Chimica Acta, 2011, 708: 37-43.
- [31] LIU G Q, TANG F L, LI L, et al. Concentration detection of quantum dots in the visible and near-infrared range based on surface plasmon resonance sensor[J]. Materials Letters, 2011, 65: 1998-2000.
- [32] 张丽君, 陆天虹, 李时银, 等. 氯霉素分子印迹聚合膜电极的制备及氯霉素检测[J]. 应用化学, 2011, 28(3): 338-342.
- [33] 武会娟, 魏玲, 刘清琨, 等. 纳米生物传感器在氯霉素检测中的应用[J]. 食品科学, 2010, 31(8): 167-170.
- [34] CHULLASAT K, KANATHARANA P, LIMBUT W, et al. Ultra trace analysis of small molecule by label-free impedimetric immunosensor using multilayer modified electrode[J]. Biosensors and Bioelectronics, 2011, 26: 4571-4578.
- [35] SUN M, DING B, LIN J Y, et al. Three-dimensional sensing membrane functionalized quartz crystal microbalance biosensor for chloramphenicol detection in real time[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2011, 160: 428-434.