

水产品中氯霉素残留检测方法研究进展

王安伟*, 刘天密, 覃 锐, 陈建华

(海南省水产品质量安全检测中心, 海口 570206)

摘 要: 氯霉素是一类广泛用于水产养殖中的抗生素, 杀菌广谱, 但残留在水产品中会对人体健康造成严重损害。本文综述了氯霉素的检测方法, 包括微生物法、免疫分析法、色谱分析法和和其他方法, 并对各种方法的特点进行了综述。微生物学法是根据氯霉素对微生物的生理机能、代谢的抑制作用, 来定性和定量检测氯霉素, 该方法灵敏度不高; 酶联免疫法灵敏度高, 重复性好, 适合水产品中氯霉素筛选; 高效液相色谱法检测水产品中氯霉素具有快速、准确、高效等特点; 气相色谱法检测水产品中氯霉素灵敏度高、准确, 适合水产品中氯霉素的检测; 液相色谱-质谱串联法是水产品中氯霉素残留检测最主要的分析方法, 具有分离度高、快速、准确的特点。最后对氯霉素药物残留检测方法发展趋势进行了展望。

关键词: 水产品; 氯霉素; 检测方法

Research progress on the detection of chloramphenicols residues in aquatic products

WANG An-Wei*, LIU Tian-Mi, QIN Rui, CHEN Jian-Hua

(Testing Center of Aquatic Product Quality Safety of Hainan Province, Haikou 570206, China)

ABSTRACT: Chloramphenicol (CAP) is a kind of antibiotic drugs with efficiently broad-spectrum and widely applied in animal aquaculture. It is a broad-spectrum fungicide, but the residues of CAP in aquatic products are very harmful to human health. This paper reviewed the main analytical methods for chloramphenicol in aquatic products and summarized the characteristics of various methods, including microbiology method, immunoassay, chromatography, and so on. The residues of chloramphenicol were qualitatively and quantitatively assayed by microbiology according to the physiology and metabolization, but this method was not sensitive. Enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) was sensitive and suitable for the determination of trace chloramphenicol in aquatic products. Liquid chromatography was rapid, accurate and efficient in the detection of chloramphenicol in aquatic products. Gas chromatography was sensitive, accurate and suitable for the determination of trace chloramphenicol in aquatic products. Liquid chromatography tandem mass spectrometric method was the most important analytical method for chloramphenicol residues in aquatic products. Finally, the development trend of detection techniques of CAP residues was discussed.

KEY WORDS: aquatic products; chloramphenicols; detection methods

基金项目: 海南省应用技术研发与示范推广专项(ZDXM2015023)

Fund: Supported by the Project of Application Technology Research Development and Demonstration Promotion in Hainan Province (ZDXM2015023)

*通讯作者: 王安伟, 工程师, 主要研究方向为水产品质量安全检测。E-mail:waw6664216@163.com

*Corresponding author: WANG An-Wei, Engineer, Testing Center of Aquatic Product Quality Safety of Hainan Province, Haikou 570206, China. E-mail: waw6664216@163.com

1 引言

氯霉素(chloramphenicol, CAP)是一种广谱抗生素,能治疗多种细菌引起的感染性疾病。是治疗伤寒、副伤寒的首选药,治疗厌氧菌感染的特效药物之一,其次用于敏感微生物所致的各种感染性疾病的治疗,能抑制革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌^[1]。但氯霉素的副作用和毒副作用较大,主要有粒细胞及血小板减少、再生障碍性贫血等^[2],由于氯霉素可透过胎盘屏障,对早产儿和足月产新生儿均可能引起毒性反应^[3]。我国在2002年把氯霉素列为违禁药物,禁止在动物性食物中检出。

氯霉素是白色针状或微带黄绿色的针状、长片状结晶或结晶性粉末;味苦。在甲醇、乙醇、丙酮、丙二醇中易溶。在干燥时稳定,在弱酸性和中性溶液中较稳定,煮沸也不见分解。自20世纪70年代以来,氯霉素药物残留检测方法蓬勃发展,先后涌现了免疫分析法、高效液相色谱法、气相色谱法、高效液相色谱-质谱串联法等。

2 微生物学方法

宋杰等^[4]建立了微生物法在检测牛奶中氯霉素残留的应用,该方法用快速检测试纸检测,最低检出限达到3 $\mu\text{g/mL}$,结果准确可靠,是氯霉素检测的一个发展方向。王志强等^[5]利用快速纸片法检测了鱼肉和虾肉中的氯霉素残留,该方法取水产品可食部分均质、混匀,和筛选出的敏感菌株,放在培养基中过夜,实验测定用平板测定菌的浓度及加入量多少直接影响抑菌圈大小与清晰度,抑菌圈直径大小随着测定菌液浓度的增加而减小,该方法在水产品中氯霉素的检出限为0.1 $\mu\text{g/mL}$,达到国标GB/T4789127-2003要求。焦彦朝等^[6-11]也对鲤鱼等水产品中氯霉素进行了检测,同样得到了理想的实验结果。微生物学检测法检测水产品中氯霉素残留具有快速、低成本、可同时检测多种抗生素等优点,但灵敏度不高,比较适合养殖场和乡镇基层监管部门。

3 免疫法

3.1 酶联免疫法

酶联免疫法(enzyme linked immunosorbent assay, ELISA)是抗原或抗体结合到某种固相载体表面,并保持其免疫活性,抗原或抗体与某种酶连接成酶标抗原或抗体,这种酶标抗原或抗体既保留其免疫活性,又保留酶的活性。在测定时,把受检标本(测定其中的抗体或抗原)和酶标抗原或抗体按不同的步骤与固相载体表面的抗原或抗体起反应。用洗涤的方法使固相载体上形成的抗原抗体复合物与其他物质分开,最后结合在固相载体上的酶量与标本中受检物质的量成一定的比例。加入酶反应的底物后,底物

被酶催化变为有色产物,产物的量与标本中受检物质的量直接相关,可根据颜色反应的深浅进行定性或定量分析。Comelis等^[12]建立了生物素酶联免疫吸附测定法,检测限为10 $\mu\text{g/kg}$ 。萨仁托雅等^[13]建立了水产品中氯霉素残留的酶联免疫方法,结果显示该方法的检出限为0.05 $\mu\text{g/kg}$,线性范围为0.05~4.05 $\mu\text{g/kg}$,回收率为85.3%~111.3%,谭慧^[14]、欧翔等^[15]分别建立的水产品中氯霉素残留的酶联免疫方法,检出限为0.01 $\mu\text{g/kg}$,回收率略有不同。齐宁利等^[16]建立了酶联免疫法测定水产品中氯霉素的残留,检出限达到0.00625 $\mu\text{g/kg}$,回收率在83.67%~87.06%。刘静等^[17-22]也对酶联免疫法检测食品中氯霉素做了进一步研究,取得了良好效果。

酶联免疫法具有灵敏度高,特异性强等优点,但有时会出现假阳性,适合水产品加工企业和小型实验室对氯霉素残留初步筛选。

3.2 放射免疫法

放射免疫法是利用同位素标记的与未标记的抗原同抗体发生竞争性抑制反应的放射性同位素体外微量分析方法。1960年美国化学家R.S.耶洛和S.A.贝尔森提出此法,1985年,Arnold等^[23]建立了氯霉素的放射免疫检测法,该方法最低检出限为0.2 $\mu\text{g/kg}$,在奶类中检测结果较好,回收率在95%以上。倪梅林等^[24,25]建立了虾仁中氯霉素残留量的放射免疫分析和养殖对虾中氯霉素残留的放射免疫分析,检测限为0.15 $\mu\text{g/kg}$ 。放射免疫法因放射污染和环境污染等因素,在水产品检测领域的发展受到限制。

4 色谱法

4.1 气相色谱法

1974年, Jacobson等在美国官方分析化学家协会AOAC年会上提出了气相色谱法检测氯霉素残留,样品回收率超过80%,检出限在0.25 $\mu\text{g/kg}$ 以下, Akhtar等^[26]建立了蛋中氯霉素残留的检测-气相色谱法, Gude等^[27]建立了猪肉中氯霉素残留量的测定-气相色谱法,检出限为0.2 $\mu\text{g/kg}$,彭莉等^[28]、宫向红等^[29]、洪振涛等^[30]、周金慧等^[31]分别研究了牛奶、水产品、动物组织、肌肉组织中氯霉素残留量气相色谱法测定,用乙酸乙酯提取,正己烷液液萃取, C_{18} 固相萃取柱净化,硅烷化试剂(BSTFA+TMCS, 99:1)衍生后,用配有ECD检测器的气相色谱仪检测,检测限均在0.1 $\mu\text{g/kg}$ 左右。

4.2 高效液相色谱法

高效液相色谱法检测食品中氯霉素残留,准确度高,易操作,该方法重复性好,极少出现假阳性,缺点是该方法检出限较高。Wal等^[32]首次建立了牛奶中氯霉素残留量测定-高效液相色谱法,检出限为5 $\mu\text{g/kg}$ 。20世纪90年代

初, 国外报道了用液相色谱法测定动物肌肉和养殖鱼肌肉中氯霉素残留, 检出限为 10 $\mu\text{g/kg}$, 1991 年于国胜^[33]建立了肉类中氯霉素的高效液相色谱法检测技术, 此方法检出限为 2 $\mu\text{g/kg}$, 对于含量为 10 $\mu\text{g/kg}$ 量级的回收率为 75%。何方奕等^[34]建立了肉食鸡中氯霉素残留量的固相萃取-高效液相色谱法分析方法, 该方法回收率为 82.4%, 检出限为 5 $\mu\text{g/kg}$ 。

4.3 高效液相色谱-质谱串联法

液相色谱-质谱串联法已成为水产品中氯霉素残留最主要的分析方法, 与其他分析方法相比, 其前处理更简单、快捷、可靠。具有分离能力高, 分析速度快, 灵敏度高特点, 结合质谱的超强定性能力, 检测的选择性和灵敏度都有了质的提高, 但该方法用到液相-质谱联用仪, 其价格在 300 万元以上, 适用于农业部或省级及国家级检测中心, 一般实验室因价格昂贵难以普及。中华人民共和国国标 GB/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液相色谱-串联质谱法》、GB/T 22338-2008《动物源性食品中氯霉素类药物残留量的测定》、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液相色谱-串联质谱法》, 中华人民共和国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液相色谱-串联质谱法》, 中华人民共和国国标农业部 781 号公告-2-2006《动物源食品中氯霉素残留量的检测方法高效液相色谱-串联质谱法》对水产品中氯霉素残留量的检测做了具体规定。

为了缩短检测时间, 提高检测效率, 梅光明等^[35-37]建立了水产品中 3 种氯霉素类药物残留的超高效液相-串联质谱测定法研究, 该方法经乙酸乙酯提取样品, 正己烷脱脂, C_{18} 柱分离提纯, 检出限 0.10 $\mu\text{g/kg}$, 回收率 84.7%~104.9%, 该方法前处理方法简单快捷, 检验结果准确可靠, 检测效果较为满意。刘丽丽等^[38]对水产品中氯霉素检测条件进行了优化, 用乙酸乙酯提取后直接过 HLB 柱固相萃取柱净化, C_{18} 柱分离提纯, ESI 源负离子模式对氯霉素进行检测, 检出限为 0.10 $\mu\text{g/kg}$, 回收率为 95.0%~103.2%, 灵敏度和回收率较高, 重复性和线性关系良好, 基质干扰小。Ramos 等^[39]建立了液质技术检测对虾中氯霉素残留, 该方法最低检出限 0.2 $\mu\text{g/kg}$, 回收率良好。杨成对等^[40]对对虾中氯霉素残留进行了分析研究, 采用乙酸乙酯超声提取, 以甲醇为流动相, 该方法回收率在 89%以上, 检出限达到 0.07 $\mu\text{g/kg}$ 。Pfennig 等^[41]发现提取液中加入少量的氨水对虾等水产品具有更高的提取效率。陈舒舒等^[42]建立了蜂蜜中氯霉素残留的检测及净化方法研究, 回收率在 78%~93%, 检出限为 0.1 $\mu\text{g/kg}$ 。毛丽莎等^[43,44]对动物源性食品中氯霉素残留量进行了检测分析方

法研究, 检出限达到了 0.02 $\mu\text{g/kg}$ 。

5 其他分析方法

电化学分析法(electrochemical analysis), 是建立在物质在溶液中的电化学性质基础上的一类仪器分析方法, 通常将试液作为化学电池的一个组成部分, 根据该电池的某种电参数(如电阻、电导、电位、电流、电量或电流-电压曲线等)与被测物质的浓度之间存在一定的关系而进行测定的方法^[45,46]。Lakshmi 等^[47-53]建立了聚苯胺分子印迹膜电化学传感器法检测氯霉素眼药水的方法, 李香俊等^[54]建立了基于石墨烯分子印迹电化学传感器测定氯霉素的方法, 该方法线性范围 $2.5 \times 10^{-9} \sim 5.0 \times 10^{-6}$ mol/L, 最低检出限为 8×10^{-10} mol/L。赵晓娟等^[55]建立了氯霉素在过氧化聚多巴胺修饰电极上的电化学行为及测定, Richa 等^[56-58]建立了生物传感器检测氯霉素的方法, 均取得了良好的效果, 该方法检出限 10^{-7} mol/L, 在牛奶和蜂蜜中的回收率分别达到 83.4%~74.1% 和 91.5%~108.6%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)分别为 3.5%~5.7%和 2.8%~7.4%, 表明该方法有良好的精密度和准确度。

6 结 论

随着我国水产品养殖规模不断扩大, 养殖过程中滥用氯霉素问题已引起严重安全问题。近年来, 我国氯霉素残留量定量检测方法主要是气相色谱法和液质联用法, 这两种方法具有较高的灵敏度和准确度, 重复性好, 缺点是用气相色谱法检测氯霉素前处理过程复杂, 耗时长, 需要衍生化, 对检测人员能力要求较高; 液质联用法检测氯霉素灵敏可靠, 前处理过程不需要衍生化, 重复性好, 与气相色谱法和气相色谱-质谱联用法相比较, 液相色谱-质谱联用法既节省了检测时间, 又提高了检测结果的准确性和稳定性, 是将来氯霉素检测的主要发展趋势。电化学分析法是近几年新兴的氯霉素检测方法, 电化学传感器可以在实验室制作, 方法简单, 成本低, 经过氧化处理的聚多巴胺膜修饰电极和聚苯胺分子印迹膜电化学传感器对氯霉素的响应灵敏度强, 稳定性和重现性良好, 石墨烯分子印迹电化学传感器可以对氯霉素进行高灵敏且高选择性的快速检测。电化学分析法检测氯霉素成本低, 方法简便、快捷, 选择性好, 也是未来氯霉素残留检测的一个重要发展方向。

参考文献

- [1] 张杰, 许家胜, 刘连利. 高效液相色谱法测定牛奶中的氯霉素残留[J]. 化学研究与应用, 2013, 25(4): 593-595.
Zhang J, Xu JS, Liu LL. Determination of chloramphenicol residue in milk by HPLC [J]. Chem Res Appl, 2013, 25(4): 593-595.
- [2] Masahiko T, Shigeki D, Taketoshi N. Determination of chloramphenicol residues in fish meats by liquid chromatography-atmospheric pressure

- photoionization mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2003, 1011: 67–75.
- [3] 何方奕, 李铁纯, 李学程, 等. 固相萃取-高效液相色谱法测定鸡肉中氯霉素的残留[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 629–630.
- He FY, Li TC, Li XC, *et al.* Determination of chloramphenicol in chicken by solid phase extraction-HPLC [J]. *Food Sci*, 2006, 27(12): 629–630.
- [4] 宋杰, 宋燕青, 王勇鑫, 等. 微生物法在检测牛奶中氯霉素残留的应用[J]. *河北师范大学学报(自然科学版)*, 2005, 29(1): 85–87.
- Song J, Song YQ, Wang YX, *et al.* The detection of chloramphenicol residue in milk by microbiological method [J]. *J Hebei Normal Univ (Nat Sci Ed)*, 2005, 29(1): 85–87.
- [5] 王志强, 胡国媛. 微生物抑制法快速检测牛奶中多种抗生素残留[J]. *中国食品卫生杂志*, 2008, 20(2): 139–141.
- Wang ZQ, Hu GY. The quickly detection the residue of multiple antibiotics in milk by Microbial inhibition method [J]. *Chin J Food Hyg*, 2008, 20(2): 139–141.
- [6] Shakila JR, Saravanakumar R, Vyla S, *et al.* An improved microbial assay for the detection of chloramphenicol residues in shrimp tissues [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2007, 8: 515–518.
- [7] 朱兰兰, 林洪, 王静雪, 等. 利用发光细菌进行褐牙鲈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.
- Zhu LL, Lin H, Wang JX, *et al.* Study on the rapid detection of chloramphenicol residue in brown teeth by using the luminescent bacteria [J]. *Food Ferment Ind*, 2007, 33(10): 155–159.
- [8] 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.
- Wang YQ, Wang JX, Lin H, *et al.* The establishment of chloramphenicol in aquatic products was detected by photobacterial method [J]. *J Ocean Univ Chin*, 2009, 39(1): 66–70.
- [9] 焦彦朝, 何家香, 梅先芝. 微生物检定法测定鲤鱼肌肉组织残留氯霉素[J]. *中国饲料*, 2000, 5: 22–24.
- Jiao YZ, He JX, Mei XZ. The microbiological assay method was used to determine the residual chloramphenicol of carp muscle [J]. *China Feed*, 2000, 5: 22–24.
- [10] 王和协. 氯霉素微生物检定法改进[J]. *安徽医药*, 2003, 7(5): 412.
- Wang HX. The improvement of microbiological detection of chloramphenicol [J]. *Anhui Med Pharm*, 2003, 7(5): 412.
- [11] 柯士义, 孔生海, 熊汉申. 快速微生物法测定血浆中氯霉素[J]. *中国医院医学杂志*, 1989, 9(10): 486–487.
- Ke SY, Kong SH, Xiong HS. Rapid microbiological method for determination of chloramphenicol in plasma [J]. *Chin J Hosp Med*, 1989, 9(10): 486–487.
- [12] Cornelis, Vandewater, NelHaagsma. Sensitive streptavidin in biotin enzyme linked immunosorbent assay for rapid screening of chloramphenicol residues in swine muscle tissue [J]. *J Ass Anal Chem*, 1990, 73(4): 534–540.
- [13] 萨仁托雅, 张峰, 郑有虎, 等. 化学发光免疫分析与酶联免疫分析法检测水产品药物残留的比较研究[J]. *大连海洋大学学报*, 2014, 29(5): 486–491.
- Sa RTY, Zhang F, Zheng YH, *et al.* The detection of drug residues in aquatic products by chemiluminescence immunoassay and enzyme-linked immunoassay [J]. *J Dalian Ocean Univ*, 2014, 29(5): 486–491.
- [14] 谭慧, 麦琪. 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.
- Tan H, Mai Q. Determination of chloramphenicol in aquatic products by enzyme-linked immunoassay [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2010, 20(7): 1649–1650.
- [15] 欧翔. 酶联免疫法测定水产品中氯霉素的残留量[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(9): 110–111.
- Ou X. The determination of residual amount of chloramphenicol in aquatic products by enzyme-linked immunoassay [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2015, 43(9): 110–111.
- [16] 齐宁利, 周慧玲, 李涛, 等. 酶联免疫法测定水产品中氯霉素的残留[J]. *食品工业*, 2015, 36(6): 273–275.
- Qi NL, Zhou HL, Li T, *et al.* The determination of residual chloramphenicol in aquatic products by enzyme-linked immunoassay [J]. *Food Ind*, 2015, 36(6): 273–275.
- [17] 陈成良, 黄湖, 梁淑婷, 等. 酶联免疫吸附法检测水产品中的氟苯尼考[J]. *现代食品*, 2016, 16(34): 92–96.
- Chen CL, Huang H, Liang ST, *et al.* The detection of fluphenicol in aquatic products by enzyme-linked immunosorbent assay [J]. *Mod Food*, 2016, 16(34): 92–96.
- [18] 刘静, 董煜杰, 严义勇. 酶联免疫法测定水产品中氯霉素方法探讨[J]. *供水技术*, 2016, 10(5): 52–54.
- Liu J, Dong YJ, Yan YY. Methods of determination of chloramphenicol in aquatic products by enzyme-linked immunoassay [J]. *Water Technol*, 2016, 10(5): 52–54.
- [19] 刘丽丽. 酶联免疫法(ELISA)测定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.
- Liu LL. The influence factors and control methods of chloramphenicol residue in aquatic products were determined by enzyme-linked immunoassay (ELISA) [J]. *Shandong Fish*, 2010, 27(2): 7–9.
- [20] 刘万学. 利用酶联免疫法检测水产品中氯霉素残留的结果分析[J]. *黑龙江水产*, 2015, 5: 36–37.
- Liu WX. The results of chloramphenicol residue in aquatic products were analyzed by enzyme-linked immunoassay [J]. *Heilongjiang Fish*, 2015, 5: 36–37.
- [21] 杜兵耀, 藏长江, 马晨, 等. 免疫学技术在牛奶检测中应用的研究进展[J]. *中国畜牧兽医*, 2016, 43(2): 457–461.
- Du BY, Zang CJ, Ma C, *et al.* Advances in the application of immunological techniques in milk testing [J]. *Chin Anim Husband Vet Med*, 2016, 43(2): 457–461.
- [22] Abad A, Moreno MJ, Montoya A. Development of monoclonal antibody based immunoassays to the N-methylcarbamate pesticide carbofuran [J]. *J Agric Food Chem*, 1999, 47(6): 2475–2485.
- [23] Arnold, Somogyi. Trace analysis of chloramphenicol residues in egg, milk and meat: Comparison of gas chromatography and radioimmunoassay [J]. *AOAC*, 1985, 68(5): 984–989.
- [24] 倪梅林, 张再婷, 李佐卿. 虾仁中氯霉素残留量的放射免疫分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 2006, 16(10): 1266–1280.
- Ni ML, Zhang ZT, Li ZQ. Radioimmunoassay of chloramphenicol residue in shrimp [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2006, 16(10): 1266–1280.
- [25] 徐美奕, 孟庆勇. 养殖对虾中氯霉素残留的放射免疫分析[J]. *广州食品工业科技*, 2003, 19(3): 66–67.
- Xu MY, Meng QY. Radioimmunoassay of chloramphenicol residues in shrimp [J]. *Sci Technol Guangzhou Food Ind*, 2003, 19(3): 66–67.

- [26] Akhtar MH, Danis C, Sauve A, *et al.* Gas chromatographic determination of incurred chloramphenicol residues in eggs following optimal extraction [J]. *J Chromatogr A*, 1995, 696: 123–130.
- [27] Gude T, Preiss A, Rubach K. Determination of chloramphenicol in muscle, liver, kidney and urine of pigs by means of immunoaffinity chromatography and gas chromatography with electron capture detection [J]. *J Chromatogr B*, 1995, 673: 197–204.
- [28] 彭莉, 程江, 高岚, 等. 牛奶中氯霉素残留的气相色谱测定法研究[J]. *中国兽药杂志*, 2006, 40(9): 14–17.
- Peng L, Cheng J, Gao L, *et al.* Determination of chloramphenicol residual gas chromatography in milk [J]. *Chin J Vet Drug*, 2006, 40(9): 14–17.
- [29] 宫向红, 徐英江, 张秀珍. 水产品中氯霉素残留量气相色谱检测方法的探讨[J]. *食品科学*, 2006, 27(7): 222–224.
- Gong XH, Xu YJ, Zhang XZ. Discussion on the determination of chloramphenicol residue gas chromatography in aquatic products [J]. *Food Sci*, 2006, 27(7): 222–224.
- [30] 洪振涛, 张卫锋, 聂建荣, 等. 气相色谱法测定动物组织氯霉素的残留量[J]. *中国兽药杂志*, 2006, 40(2): 14–16.
- Hong ZT, Zhang WF, Nie JR, *et al.* Determination of chloramphenicol in animals by GC [J]. *Chin J Vet Drug*, 2006, 40(2): 14–16.
- [31] 周金慧, 张素霞, 沈建忠, 等. 鸡组织中氯霉素残留的气相色谱-微电子捕获检测方法研究[J]. *中国兽药杂志*, 2006, 40(1): 16–19.
- Zhou JH, Zhang SX, Shen JZ, *et al.* Study on the detection method of chloramphenicol residue in chicken tissue [J]. *Chin J Vet Drug*, 2006, 40(1): 16–19.
- [32] Wal JM. Pelepan. High performance liquid chromatographic determination of chloramphenicol in milk [J]. *J Ass Anal Chem*, 1980, 63(5): 1044–1048.
- [33] 于国胜. 肉类中氯霉素的高效液相色谱测定法[J]. *分析测试通报*, 1991, 10(4): 75–76.
- Yu GS. High performance liquid chromatography of chloramphenicol in meat [J]. *Bull Anal Test*, 1991, 10(4): 75–76.
- [34] 何方奕, 李铁纯, 李学程, 等. 固相萃取-高效液相色谱法测定鸡肉中氯霉素的残留[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 629–630.
- He FY, Li TC, Li XC, *et al.* Determination of chloramphenicol in chicken by solid phase extraction-HPLC [J]. *Food Sci*, 2006, 27(12): 629–630.
- [35] 梅光明, 陈学昌, 张小军, 等. 水产品中 3 种氯霉素类药物残留的超高效液相-串联质谱测定法研究[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2013, 32(3): 249–254.
- Mei GM, Chen XC, Zhang XJ, *et al.* The ultrahigh performance liquid phase - tandem mass spectrometry of three chloramphenicol residues in aquatic products [J]. *J Zhejiang Ocean Univ (Nat Sci Ed)*, 2013, 32(3): 249–254.
- [36] Nagata T, Oka H. Simultaneous determination of chloramphenicol, florfenicol and thiamphenicol residues in yellowtail fish by capillary gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Agric Food Chem*, 1996, 44: 1280–1284.
- [37] 张毅, 岳振峰, 蓝芳, 等. 分散固相萃取净化与液相色谱/串联质谱法测定牛奶中 8 类禁用药物残留[J]. *分析化学*, 2012, (5): 724–729.
- Zhang Y, Yue ZF, Lan F, *et al.* The dispersion solid phase extraction purification and liquid chromatography/tandem mass spectrometry were used to determine the residues of 8 classes in milk [J]. *Chin J Anal Chem*, 2012, (5): 724–729.
- [38] 刘丽丽, 刘谦, 王宇. 水产品中氯霉素检测条件的优化[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(2): 623–628.
- Liu LL, Liu Q, Wang Y. Optimization of detection conditions of chloramphenicol in aquatic products [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(2): 623–628.
- [39] Ramos M, Munoz P, Aranda A, *et al.* Determination of chloramphenicol residues in shrimps by liquid chromatography mass spectrometry [J]. *J Chromatogr B*, 2003, 791(1): 31–38.
- [40] 杨成对, 宋莉晖, 毛丽哈, 等. 对虾中氯霉素残留的分析方法研究[J]. *分析化学*, 2004, 32: 905–907.
- Yang CD, Song LH, Mao LH, *et al.* Analysis method of chloramphenicol residue in prawns [J]. *Anal Chem*, 2004, 32: 905–907.
- [41] Pfenning AP, Roybal JE, Rupp HS, *et al.* Simultaneous determination of chloramphenicol, florfenicol, florfenicol amine, and thiamphenicol in Shrimp tissue by chromatography with electron capture detection [J]. *J AOAC Int*, 2000, 83(1): 26–30.
- [42] 陈舒舒, 许凯, 徐彦军, 等. 蜂蜜中氯霉素残留的检测及净化方法研究[J]. *安全与环境学报*, 2006, 6(2): 92–95.
- Chen SS, Xu K, Xu YJ, *et al.* Detection and purification of chloramphenicol residue in honey [J]. *J Saf Environ*, 2006, 6(2): 92–95.
- [43] 毛丽莎, 刘洪河, 刘桂华, 等. 动物源性食品中氯霉素残留量的检测方法研究[J]. *现代预防医学*, 2010, 37(6): 1123–1125.
- Mao LS, Liu HH, Liu GH, *et al.* Study on the detection method of chloramphenicol residue in animal source food [J]. *Mod Prev Med*, 2010, 37(6): 1123–1125.
- [44] Zhang ZhW, Wu YP, Li XW, *et al.* Multi-class method for the determination of nitroimidazoles, nitrofurans, and chloramphenicol in chicken muscle and egg by dispersive solid phase extraction and ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2017, 217(2): 182–190.
- [45] Agui L, Guzman A, Yanez SP, *et al.* Voltammetric determination of Chloramphenicol at electrochemically activated carbon fibre microelectrodes [J]. *Anal Chim Acta*, 2002, 461(1): 65–73.
- [46] Alizadeh T, Ganjali MR, Zare M, *et al.* Selective determination of Chloramphenicol at trace level in milk samples by the electrode modified with molecularly imprinted polymer [J]. *Food Chem*, 2012, 130(4): 1108–1114.
- [47] Lakshmi D, Bossi A, Whitcombe MJ. Electrochemically sensor for catechol and dopamine based on a catalytic molecularly imprinted polymer conducting polymer hybrid recognition element [J]. *Anal Chem*, 2009, 81(9): 3576–3584.
- [48] 李欢欢, 常治显, 周文辉, 等. 聚苯胺分子印迹膜电化学传感器法检测氯霉素[J]. *化学研究*, 2013, 24(6): 611–615.
- Li HH, Chang ZX, Zhou WH, *et al.* The electrochemical sensor method of polyaniline molecular imprinting was used to detect chloramphenicol [J]. *Chem Res*, 2013, 24(6): 611–615.
- [49] Xie CG, Zhang ZP, *et al.* Surface molecular self-assembly strategy for TNT imprinted of polymer nanowire/nanotube arrays [J]. *Anal Chem*, 2006, 78(24): 8339–8346.
- [50] Zhou WH, Guo XC, Zhao HQ, *et al.* Molecularly imprinted polymer for selective extraction of domoic acid from seafood coupled with high-performance liquid Chloramphenicol determination [J]. *Talanta*, 2001, 84(3): 777–782.

- [51] Blanco LM, Castanon MJ, Miranda AJ, *et al.* Electrochemical sensors based on molecularly imprinted polymer [J]. *Trac Trend Anal Chem*, 2004, 23(1): 36–48.
- [52] Alizadeh T, Zare M, Ganjali MR, *et al.* A new molecularly imprinted polymer (MIP) based electrochemical sensor for monitoring 2,4,6-trinitrotoluene(TNT) in natural waters and solid samples [J]. *Biosens Bioelectron*, 2010, 25(5): 1166–1172.
- [53] Mao Y, Bao Y, Gan SY, *et al.* Electrochemical sensor for dopamine based on a novel graphene-molecular imprinted polymers composite recognition element [J]. *Biosens Bioelectron*, 2011, 28(1): 291–297.
- [54] 李香俊, 王晓娇, 李磊磊, 等. 基于石墨烯分子印迹电化学传感器测定氯霉素[J]. *济南大学学报(自然科学版)*, 2014, 28(3): 170–174.
- Li XJ, Wang XJ, Li LL, *et al.* Determination of chloramphenicol by graphene molecular imprinting electrochemical sensor [J]. *J Jinan Univ (Nat Sci Ed)*, 2014, 28(3): 170–174.
- [55] 赵晓娟, 张其美, 陈海光, 等. 氯霉素在过氧化聚多巴胺修饰电极上的电化学行为及测定[J]. *分析测试学报*, 2016, 35(7): 849–853.
- Zhao XJ, Zhang QM, Chen HG, *et al.* The electrochemical behavior and determination of chloramphenicol on the modified electrode [J]. *J Instrum Anal*, 2016, 35(7): 849–853.
- [56] Richa Sh, Akshath US, Praveena B, *et al.* Gold nanoparticles based enzyme biosensor for the detection of chloramphenicol [J]. *Procedia Technol*, 2017, 27: 282–286.
- [57] Khalil A, Noor MD, Mohammad R, *et al.* A novel colorimetric sandwich aptasensor based on an indirect competitive enzyme-free method for ultrasensitive detection of chloramphenicol [J]. *Biosens Bioelectron*, 2016, 78(4): 80–86.
- [58] Yang K, Hu YJ, Dong N. A novel biosensor based on competitive SERS immunoassay and magnetic separation for accurate and sensitive detection of chloramphenicol [J]. *Biosens Bioelectron*, 2016, 80(6): 373–377.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



王安伟, 硕士, 工程师, 主要研究方向为水产品质量安全检测。
E-mail: waw6664216@163.com

“功能性食品与功能性成分”专题征稿函

科技的发展使得通过发挥食品本身生理调节功能而达到健康的目的成为可能, 功能性食品的需求持续增加。功能性食品包括增强人体体质(增强免疫能力, 激活淋巴系统等)、防止疾病(高血压、糖尿病、冠心病、便秘和肿瘤等)的食品; 恢复健康(控制胆固醇、防止血小板凝集、调节造血功能等)的食品; 调节身体节律(神经中枢、神经末梢、摄取与吸收功能等)的食品和延缓衰老的食品。

鉴于此, 本刊特策划“功能性食品与功能性成分”专题, 主要围绕功能性食品开发、功能性活性成分提取、新型功能性食品研发、功能性食品添加剂、功能性食品配料、功能性物质(蛋白质、多肽、多糖、碳水化合物、维生素等)应用与研发等方面展开论述和研究, 综述、研究论文、研究简报均可。本专题计划在 2018 年 2 月截稿, 3 月出版。

本专题由国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员担任专题主编, 由南昌大学邓泽元教授、吉林大学刘静波教授、福建农林大学庞杰教授、浙江工商大学杜琪珍教授共同担任专题副主编。鉴于您在该领域丰富的研究经历和突出的学术造诣, 特别邀请您为本专题撰写稿件, 综述、研究论文、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com(注明专题)

E-mail: jfoodsq@126.com(注明专题)

《食品安全质量检测学报》编辑部