

快速检测在水产品养殖环节安全检测中的研究进展

高丽霞^{1,2}, 黄种乾^{1,2}, 冯敏^{1,2}, 黄登宇^{2,3*}

(1. 山西大学生命科学学院, 太原 030006; 2. 山西大学食品药品快速检测中心, 太原 030006;
3. 山西省食品药品监督管理局, 太原 030006)

摘要: 近年来随着水产品养殖产业规模的扩大, 水产品安全问题也逐渐被暴露出来, 成为人们对食品安全问题关注的一大焦点。本文阐述了养殖水产品在其养殖环节中的主要安全风险来源, 包括养殖水体的消毒剂、重金属和养殖过程的药物残留如饲料中的农药、兽药残留及水产品中兽药残留等; 并对水产品养殖环节安全检测中主要的快速检测技术的研究进展进行了综述, 包括试纸法、传感器法、酶联免疫法(enzyme linked immunosorbent assay, ELISA)、化学发光酶免疫法(chemiluminescence enzyme immunoassay, CLEIA)及胶体金免疫层析法(colloidal gold immunochromatographic strip assay, GICA)等。针对快速检测方法在水产品安全检测中的广泛应用, 本文提出从方法的标准化和法律效力等方面逐步完善, 以促进我国养殖水产品产业的安全持续发展。

关键词: 水产品; 快速检测; 养殖; 兽药

Research progress on rapid detection in safety test of aquatic products breeding link

GAO Li-Xia^{1,2}, HUANG Zhong-Qian^{1,2}, FENG Min^{1,2}, HUANG Deng-Yu^{2,3*}

(1. College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. The Food and Drug Safety Rapid Inspection Center, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 3. Shanxi Food and Drug Administration, Taiyuan 030006, China)

ABSTRACT: In recent years, safety problems of aquatic products are exposed gradually along with the expanding scale of aquaculture product industry, which has become one of the focuses of people's concentration on food safety. This paper expounded the main sources of safety risks in the breeding link of aquaculture products, including sanitizers, heavy metals in aquatic water and medicine residues such as pesticide residues, veterinary drug residues in feed, and veterinary drug residues in aquatic products. The research progress on common rapid detection technologies in safety test of aquatic products breeding link were summarized, mainly including test paper method, sensor method, enzyme linked immunosorbent assay (ELISA), chemiluminescence enzyme immunoassay (CLEIA) and colloidal gold immunochromatographic strip assay(GICA). Considering the application condition and tendency of rapid detection methods in aquaculture products safety test, this article puts forward that rapid detection methods should be standardized and effectual gradually, so as to promote the industry of breeding aquatic products for sustainable development in China.

KEY WORDS: aquatic product; rapid detection; breeding; veterinary drug

*通讯作者: 黄登宇, 副教授, 主要研究方向为食品卫生检测。E-mail: Huangdy1110@126.com

*Corresponding author: HUANG Deng-Yu, Associate Professor, Shanxi University & Shanxi Food and Drug Administration, No.85, Longcheng Avenue, Xiaodian District, Taiyuan 030006, China. E-mail: Huangdy1110@126.com

1 引言

我国“十三五”规划建议明确提出“实施食品安全战略”,要求“形成严密高效、社会共治的食品安全治理体系,让人民群众吃得放心”^[1]。我国是世界上水产品产量最大的国家,2014年水产品总产量达到6450万吨,与上年相比增长了4.5%,其中养殖产量4762万吨,捕捞产量1688万吨,与上年相比均有增长^[2]。随着我国经济的发展,人们的生活水平也在日益提高,水产品在日常饮食中结构中所占的比重也越来越大。1990~2010年期间,我国人均表观水产品消费量年均增幅是6.0%,至2010年达到约35.1 kg,2010年世界其他地区人均水产品供应量是15.4 kg左右^[3]。但是,近些年来水产养殖业向规模化和集约化发展,水产品安全问题的形势也日趋严峻,主要涉及到农药残留、兽药残留、重金属超标、食品添加剂超量超范围使用及非法添加物使用、寄生虫及致病菌危害等。养殖环节是保障养殖水产品质量安全的关键所在,因此加强对养殖环节的监管与控制,具有重要意义。本文对水产养殖环节存在的养殖水体中消毒剂及重金属、养殖过程中药物残留等主要安全风险来源进行了分析,并综述了相关快速检测技术在该环节的风险来源检测中的研究进展。

2 水产品养殖环节主要安全风险来源

水源环境的安全卫生,是保证水产品质量安全的主要因素之一。伴随城市工业的发展,渔业水体环境污染日益严重。2003年我国农业部第31号令《水产养殖质量安全管理规定》^[4]中要求,水产养殖用水应符合农业标准NY5052-2001《无公害食品 海水养殖用水水质》^[5]或NY5051-2001《无公害食品淡水养殖用水水质》^[6]等标准,并且水产养殖单位要对养殖用水的水质进行定期监测。

水产养殖环节的安全风险来源主要是养殖水体的消毒剂、重金属和养殖过程的药物残留(包括水产饲料的农药及兽药残留、水产品的兽药残留)等问题。另外生物毒素(如麻痹性贝类、组胺等)和工业污染物(多氯联苯、二噁英等)等因素也会给养殖环节带来安全风险。

2.1 水体中的消毒剂

养殖水体常用的消毒剂品种包括:氧化钙、含氯消毒剂(漂白粉、二氧化氯、次氯酸钠溶液、二氯异氰尿酸钠粉、三氯异氰尿酸粉和溴氯海因粉等)、戊二醛、复合碘溶液、高碘酸钠溶液和高锰酸钾等。不同消毒剂的用法用量不同,应该严格按产品的使用范围及用法用量使用^[7]。

水产养殖中广泛使用的含氯消毒剂具有价廉易得、使用简单和杀菌谱广等优点,但随着水产养殖业的规模逐渐扩大,该类消毒剂使用浓度越来越大,也带来一些危害,例如产生大量的毒性副产物(有机氯、氯氨、氯酚等)。另

外近些年研究也表明,在氯化作用过程中会产生致突变、致癌效应^[8]。甲醛作为醛类消毒剂,在目前DB33/T 721-2008《水产养殖消毒剂使用技术规范》^[7]及NY5071-2002《无公害食品 渔用药物使用原则》^[9]中均未被列举;而且我国国家卫生和计划生育委员会在2011年4月22日发布的《食品中可能违法添加的非食用物质和易滥用的食品添加剂名单(第1-5批汇总)》^[10]中包括工业用甲醛,但在实际养殖过程中仍有使用甲醛消毒剂。

2.2 水体中的重金属

由于城市扩建和工业的大规模发展,大气、土壤、水环境中均可能存在重金属(如铅、铬、汞等)污染。例如,在2012年广西龙江的镉污染事件中,龙江河段的网箱养殖鱼类由于水质镉超标而大量死亡^[11]。重金属污染作为水污染的主要问题之一,具有毒性大、不易被代谢分解、易被生物经食物链富集而表现生物放大效应等特点^[12,13],因此需要对水环境中重金属含量进行有效监控,才能保证水环境及养殖水产品的安全。

2.3 药物残留

水产饲料是水产养殖动物生长中必须的物质,饲料安全是保证水产品食用安全的前提。饲料的安全风险来源主要包括农药和兽药残留问题,并通过水产动物食用后造成水产品农药及兽药的残留;同时在水产养殖过程中,兽药的直接滥用以及违禁兽药的使用问题表现得更为突出,也成为水产品兽药残留的主要来源之一^[14]。另外,为提高饲料的外观质量或延长饲料的保藏期,饲料中可能存在饲料添加物(如防腐剂等)的超量或超范围使用问题^[15],这就需要饲料生产企业合理控制饲料添加物的使用。

2.3.1 水产饲料中的农药残留

饲料中农药残留主要来源于饲料原料中的杀虫剂、除草剂等农药超标,农药的过量及不规范使用使农作物饲料及水体造成污染,经水产品富集造成农药残留^[16],如有机氯类(滴滴涕、六六六)、有机磷类(如甲胺磷)、氨基甲酸酯类以及拟除虫菊酯(如甲氰菊酯、溴氰菊酯)等^[17]。

2.3.2 水产饲料中的兽药残留

为了提高饲料的转化率,防治水产动物疾病或促进其生长以及改善饲料品质,一些饲料生产单位会在饲料中添加相关兽药而造成水产品兽药残留^[16]。如喹乙醇具有促生长效果好、价廉等优点,一些饲料厂及养殖场大量使用这种饲料违禁药物^[18]。我国农业部第176号公告《禁止在饲料和动物饮用水中使用的药物品种目录》^[19]中也规定,禁止在饲料中添加肾上腺素受体激动剂如莱克多巴胺、盐酸克仑特罗以及性激素如己烯雌酚、雌二醇等,但也有一些养殖单位仍在饲料中违法使用。

2.3.3 水产品中的兽药残留

水产品中可能残留的兽药主要是抗生素类和孔雀石绿及结晶紫等,前者又主要包括氯霉素、磺胺类、喹啉类、

喹诺酮类等药物。2007年,美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)宣布对我国生产的养殖虾、养殖鲟鱼等产品采取扣留措施,原因是FDA对我国养殖水产品的抽检结果显示硝基呋喃类、氟喹诺酮、结晶紫、孔雀石绿等药物残留连续多次被检出,若我国出口商可证明其水产品不含上述违禁药物才可免于扣留^[20]。根据2002年农业部第193号公告《食品动物禁用的兽药及其他化合物清单》^[21],禁用的兽药包括氯霉素、五氯酚钠、呋喃唑酮类、孔雀石绿、林丹、杀虫脒、毒杀酚和激素类药物(甲基睾丸酮、己烯雌酚)等。我国农业部在2015年9月发布的第2292号公告^[22]也做出在食品动物中停止使用洛美沙星、培氟沙星、氧氟沙星、诺氟沙星4种氟喹诺酮类药物的决定。因此养殖户用药时,要明确给药部位、药物剂量及使用范围,并遵守相关药物的休药期以免造成兽药残留。

3 水产养殖环节的快速检测技术

对于水产养殖环节中的主要安全风险来源,可采用大型仪器分析技术和快速检测技术对其检测,但前者如高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)、液质联用法(liquid chromatography-tandem mass spectrometer, LC-MS/MS)等,虽然具有灵敏度高、结果准确、重复性好、假阳性少等优点,但样品前处理较复杂,仪器化程度高且价格较贵,分析速度慢,还需专业人员操作,不能满足现场快速检测的要求。快速检测技术检测速度快、灵敏度较高,检测容量大,操作简单,能较好满足实际检测工作的需求^[23]。目前在水产品养殖环节检测中应用到的快速检测技术主要有试纸法、传感器法、酶联免疫法(enzyme linked immunosorbent assay kit, ELISA)、化学发光酶免疫分析法(chemiluminescent enzyme immunoassay, CLEIA)和胶体金免疫层析法(colloidal gold immunochromatography, GICA)等。

3.1 水体中消毒剂检测

3.1.1 试纸法

试纸法是根据经特殊处理后的试纸与待测物发生反应显示特定颜色、荧光或磁性变化对待测物进行目视定性或仪器定量分析的方法。常规的试纸法通常是将配制好的反应液吸附或浸渍于纸基并干燥而制成^[24]。

韩业新等^[25]研制了检测水发或水产品中甲醛的快速定性检测试纸,试纸检测甲醛的下限是 1×10^{-3} mol/L(30×10^{-6} kg/L),且在3 min内实现检测。王文铮等^[26]以层析纸为载体,选择合适量的显色剂、稳定剂、酸度调节剂等制成了氯离子试纸,并进行试验确定其使用方法及储存条件,对实际水样的测定后与国标法测定结果比较,结果误差在半定量分析允许范围内。谢莉等^[27]利用酶促反应机制,显色剂组成为浓度为1 g/L的四甲基联苯胺(TMB)和10 μ g/mL的辣根过氧化物酶(HRP),并加入保护剂后负

载在滤纸上,干燥后制成过氧化氢快速检测试纸,实现在8 s内半定量检测食品中的过氧化氢残留。昔日亚等^[28]根据二氧化氯与碘化钾在酸性条件下发生氧化还原反应生成碘的原理,通过用淀粉显色制备了能快速检测二氧化氯的测试卡和配套比色卡,该测试卡测定二氧化氯的浓度范围是5~1000 mg/L。

制作简单、使用方便的试纸法存在检测容量有限、检测的专一性和精密度不够、检出限相对较高等不足,因此目前对试纸法的改进主要集中在载体材料的改良、标记物质的选择以及实现定量检测方面。当前在市场上常见的胶体金免疫层析试纸就是选择金颗粒作为示踪标志物应用于抗原抗体反应^[29],而新型标志物还有纳米磁性颗粒和量子点等。试纸法中标准比色卡的引进实现了半定量检测,为实现完全定量检测,目前出现了针对光学信号、荧光信号、磁性信号的试纸分析仪^[24]。

3.1.2 传感器法

伴随着仪器科学的快速发展,基于不同技术组合的传感器种类越来越多样化。除了传统的电化学生物传感器外,还有表面等离子共振传感器^[30-32]、分子印迹电化学传感器^[33,34]、免疫传感器^[35-37]和核酸适配体传感器^[38-39]等。其中,免疫传感器中涉及抗原、抗体固定化技术,存在稳定性差的问题,有待进一步完善,另外考虑到电极成本,该类传感器目前多局限于在实验室应用^[35]。在核酸适配体传感器中,核酸适配体是作为分子识别原件特异性结合待测物质,其具有特异性好、亲和性强的特点,属于快检领域较新的检测方法,但也需要在提高适宜核酸适配体的筛选效率及克服核酸适配体的易降解性等方面取得突破^[38]。传感器检测法检测快速、操作简单、灵敏度高,但重现性差^[40]。

等离子体共振散射法(plasmon resonance scattering, PRS)是根据物质浓度或构型发生变化时相应的折射率也发生改变的原理而实现检测的一种技术,无需标记、灵敏度高、耗样量少且前处理简单,可实时检测^[31]。Kang等^[41]采用PRS法测定了痕量二氧化氯,在氨-硝酸铵缓冲溶液下,银纳米颗粒在470 nm处产生较强的PRS信号,且能被二氧化氯氧化,当二氧化氯浓度在0.0011~0.185 mg/L范围内时,其浓度和PRS猝灭强度呈线性相关,检出限是0.50 μ g/L。该方法简单快速,已被用于测定饮用水中的二氧化氯。丁建军等^[42]根据甲醛脱氢酶能催化甲醛产生还原型辅酶I和甲酸,通过检测生成的还原型辅酶I可实现对甲醛的检测的原理设计了针对溶液中甲醛快速检测的电化学生物传感器。

3.2 水体中重金属的检测

3.2.1 试纸法

基于常规颜色反应的试纸法和胶体金免疫层析试纸法在重金属检测方面均有应用^[43-47]。胶体金免疫层析试纸法特异性好、灵敏度高,但制备金属离子单克隆抗体比较

困难,在一定程度上限制了该法对重金属的检测^[48]。

段博等^[43]根据二苯碳酰二肼分光光度法测定铬的原理,研制出一种试纸检测水体中重金属铬,检测范围是 0~100 mg/L,当试样质量浓度>100 mg/L 时,试样溶液需适当稀释后进行检测。郭玉香等^[44]研究了试纸与 Cd²⁺的最优反应条件,结果显示在水样中添加 0.15 mol/L 的碘化钾和 0.005 mol/L 的抗坏血酸,并用硝酸将水样 pH 值调节在 0.4~1.0 之间, Cd²⁺与试纸反应显蓝色,并与标准比色卡对比表示水体中 Cd²⁺浓度,该试纸最低检测限为 0.10 mg/L。

向军俭等^[45]采用间接竞争模式,在胶体金结合垫上包被抗 Cd²⁺-EDTA 单克隆抗体-胶体金复合物,在硝酸纤维素薄膜表面包被合成的 Cd-iEDTA-BSA 作为检测线,根据颜色反映检测结果。该试纸条对镉离子的最低检测限是 100 ng/mL;且只与 Hg²⁺-EDTA 有交叉反应,和 Pb²⁺、Fe³⁺、Cu²⁺等没有交叉反应。Tang 等^[46]也建立了水中铅离子快速检测的胶体金免疫方法,且其最低检测限是 50 ng/mL。Liu 等^[47]研究了水中 Cr³⁺和 Cr⁶⁺的纳米层析方法,检测抗体使用亲和纯化的 Cr³⁺-iEDTA 单克隆抗体,结果表明此法的最低检测限是 50 ng/mL。

3.2.2 酶抑制法

酶抑制法测定重金属的原理是重金属和一些酶的活性部位结合,影响了酶活从而使底物与酶反应体系中颜色、pH、电导率等参数改变,这些变化可借助电信号或光信号等区分开来,最终建立酶体系的变化和重金属浓度间的定量关系。由于重金属离子对酶活性的抑制效应具有广谱性,因此对于样品的处理要求较高,同时酶的固定化与否及检测方法(如酶与传感器结合)对结果均有影响^[48]。Shukor 等^[49]研究了多种重金属对木瓜蛋白酶系统的影响,结果显示木瓜蛋白酶对多种重金属较敏感,且对 Ag²⁺、Hg²⁺、Zn²⁺、Pb²⁺的 IC₅₀ 分别为 0.40、0.39、2.11 和 2.16 mg/L,而对 Cd²⁺、Cu²⁺的最低检出限分别为 0.1 mg/L、0.004 mg/L。寇冬梅等^[50]将脲酶共价固定在尼龙网上,并与 pH 电极组成一种基于脲酶活性抑制检测重金属的电位型生物传感器,对 Cu²⁺、Hg²⁺、Cd²⁺离子分别抑制 10、10、20 min 时,能检测出浓度大于 8、9 和 30 μg/L 的 Cu²⁺、Hg²⁺和 Cd²⁺。

3.2.3 酶联免疫法(ELISA)

ELISA 是利用抗原和抗体的特异结合反应,在合适载体上使酶标抗原或抗体与待测物质结合反应,再加入酶的底物进行显色,由显色物质含量反映待测物含量的定性或定量方法。建立检测重金属的 ELISA 方法,完全人工抗原的合成是关键环节和技术难点之一,同时特异性好的重金属-螯合剂单克隆抗体的筛选也很重要^[51]。

王津等^[52]建立了间接竞争 ELISA 法检测水样中重金属镉,结果表明该法的检测限 IC₁₅ 是 0.76 μg/L,灵敏度 IC₅₀ 是 11.33 μg/L,且制备的镉多克隆抗体与汞螯合物的交叉反应率是 10.9%,与其他金属(铬、铁、镁、锰、铅等)螯合物的交叉反应率都小于 1.32%。方淑兵等^[53]建立了汞

离子的间接竞争 ELISA 分析方法,使用异硫氰酸苄基乙二胺四乙酸作为双功能螯合剂,将汞离子和钥孔血蓝蛋白分别连接作为免疫原,免疫新西兰大白兔获得抗体并纯化,结果显示该法对汞离子的检测限是 0.45 μg/L,灵敏度是 4.10 μg/L。

ELISA 法灵敏度高、检测量大,但是假阳性高、样品基质干扰性大,且对结构类似物有交叉反应,但随着蛋白质工程及生物酶标分析技术的发展,该方法的灵敏度与定量能力将进一步提高。

3.2.4 发光细菌法

发光细菌法检测重金属的原理是发光细菌在受到环境中重金属毒性的胁迫下其发光强度会受到抑制,根据细菌发光强度的改变可间接测得重金属的含量。研究表明,凡是能干扰或破坏发光细菌的呼吸、生长等生理过程的任何有毒物质均可依据发光强度的改变来测定。通过在一定浓度范围内建立发光细菌的发光强度和生物毒性污染物浓度的线性关系,从而准确地反映出污染物的浓度变化^[54]。但由于细胞发光强度本质差异的存在,使该法的重现性不佳,同时基因工程菌对生态环境安全性等问题也需进一步探讨解决^[48]。Trang 等^[55]通过基因工程手段构建了一种重组发光细菌 *E. coli* DH5α,该细菌只对砷敏感且在砷的诱导下发出荧光,并且其发光强度和砷浓度线性相关的浓度范围是 10~100 μg/L,对地下水样品中砷浓度的检测灵敏度可达到 7 μg/L。

3.3 药物残留检测

3.3.1 酶联免疫及化学发光酶联免疫(CLEIA)

CLEIA 与 ELISA 的区别在于前者是利用发光底物在酶的作用下产生的发光强度来对待测物进行定量。CLEIA 与 ELISA 相比,灵敏度更高,但是该方法的批内、批间变异系数一般高于 ELISA,主要是因为化学发光标记物在发光强度达最大值后易衰减使发光值不稳定。因此对于 CLEIA 法,需筛选新的发光标记物并对发光增强剂进一步研究^[56]。目前市场上对于药物残留检测的产品多是系列化、标准化的酶联免疫试剂盒及胶体金免疫层析试纸。

张峰等^[57]建立了直接竞争 CLEIA 分析法检测有机氯农药中的滴滴涕残留,该法对滴滴涕的最低检测限是 0.05 ng/mL,加标回收率是 91.4%~107.8%。瞿建宏等^[58]采用间接竞争 ELISA 法检测了水产品中甲氰菊酯的残留,确定甲氰菊酯-卵清蛋白(OVA)抗原最优包被浓度是 1.6 mg/L,羊抗兔 Ig G-HRP 的最优稀释度是 1:1000,多抗的稀释度是 1:3200,检测范围是 20~200 μg/kg。

Li 等^[59]研究了间接竞争 ELISA 法检测己烯雌酚,通过制备己烯雌酚多克隆抗体进行实验,测得 IC₅₀ 为 275 pg/mL,最低检测限为 90 pg/mL,且在饲料中己烯雌酚的检测限为 4800 pg/mL。万宇平等^[60]建立了直接竞争 ELISA 法检测动物组织中 β-兴奋剂类药物的残留,测得此法的半

抑制浓度(IC₅₀)在 0.4~0.7 μg/L 范围浮动, 对动物组织样本的检测限是 0.5 μg/kg, 可用来检测沙丁胺醇、溴布特罗、克伦特罗等 β-兴奋剂类药物多残留。

萨仁托雅^[61]等采用 ELISA 法和 CLEIA 法 2 种方法检测了水产品中氯霉素(CAP) 和呋喃唑酮代谢物(AOZ)的残留。其研究显示, CLEIA 分析法的检出限比 ELISA 法低, 检测线性范围也优于 ELISA 法, 且 2 种酶免疫方法的添加回收率都有较好的相关性; 其中 ELISA 法检测 CAP 的检出限是 0.05 μg/kg, 线性范围是 0.05~4.05 μg/kg, 检测 AOZ 的检出限是 0.1 μg/kg, 线性范围是 0.10~1.62 μg/kg; CLEIA 法检测 CAP 的检出限是 0.016 μg/kg, 线性范围是 0.025~6.400 μg/kg, 检测 AOZ 的检出限是 0.01 μg/kg, 线性范围是 0.01~2.56 μg/kg。

吕芳等^[62]利用商品化的酶联免疫试剂盒研究了酶联免疫法对水产品中孔雀石绿的检测效果, 发现检测结果会由于样本基质组分的存在而产生显著偏差, 且主要干扰因素之一是蛋白质。为去除干扰蛋白, 可用 9%三氯乙酸处理提取液, 从而使基质干扰程度显著降低, 且当加标浓度为 0.5 μg/kg 时, 对大菱鲆、南美白对虾和大黄鱼的平均回收率范围在 120%~130%, 基本达到对实际样品筛选检测的要求。

3.3.2 胶体金免疫层析法(GICA)

胶体金免疫层析法作为一种试纸法在药物残留初筛和现场检测中被广泛应用。该法最大的优点就是检测时间很短且结果易判定, 符合监管或执法部门的相关检测要求。GICA 法与 ELISA 一样也易出现假阳性或假阴性问题, 因此可考虑结合生物素-亲和素信号放大系统, 同时也提高了 GICA 法检测的灵敏度, 但目前针对胶体金层析技术的这种改进方法在药物残留检测方面的研究报道较少^[63]。

周彤等^[64]研制了检测喹乙醇的胶体金层析试纸条, 通过在玻璃纤维上喷涂上金标抗体, 在硝酸纤维素膜上分别喷涂上喹乙醇偶联抗原和羊抗鼠 IgG 作检测线和质控线。结果表明, 该试纸条对饲料、鱼肉和鸡肝脏样品中喹乙醇的最低检测限分别是 2.0、1.5 和 1.5 μg/g, 且与常用的抗生素(四环素、土霉素、青霉素等)无交叉反应。吴茂生等^[65]利用 GICA 法对水产品中呋喃妥因代谢物残留进行检测, 结果表明其检测限是 1.0 μg/kg, 假阳性率≤5%, 假阴性率是 0, 且经过液质联用法(LC-MS/MS)确证结果一致。张敏等^[66]研制了一种快速检测水产品中磺胺类药物的胶体金免疫试纸条, 结果表明该试纸条对水产品中的磺胺嘧啶(sulfapyridine, SD)、磺胺间甲氧嘧啶(sulfamonomethoxine, SMM)、磺胺二甲噻啶(sulfamethazine, SM₂)、磺胺对甲氧嘧啶(sulfamer, SMD)的检出限分别是 5、40、45 和 100 μg/kg, 与四环素、盐酸克伦特罗、环丙沙星、氯霉素等无交叉反应, 证明检测试剂的灵敏度和特异性较高。

3.3.3 传感器法

目前关于分子印迹技术检测兽药残留的研究比较多, 因此基于分子印迹技术的电化学传感器的报道也较多^[67,68]。分子印迹聚合物(molecular imprinted polymers, MIP)是以待测物质为模板而合成具有类抗体性质且在空间结构上与待测物质完全吻合的印迹聚合物, 其对待测物质的识别具有特异性, 同时性质稳定, 可以重复使用, 是对传统生物传感器的改进^[32]; 但这类传感器的功能单体种类较少, “印迹”容量低^[34]。张丽君等^[69]利用分子印迹电化学传感器方法检测了氯霉素(chloramphenicol, CAP), 以 CAP 为模板分子, 邻氨基酚为功能单体, 运用电化学聚合方法在 Pt 电极上制备 CAP 分子印迹聚合物膜电极, 该电极对 CAP 的检出限是 2.5×10^{-8} mol/L, 线性范围是 $4.33 \times 10^{-8} \sim 3.09 \times 10^{-6}$ mol/L。但在此研究中, 制备性能均一的分子印迹 Pt 电极比较困难, 因此该法的推广受一定限制。

Wang 等^[70]采用电化学免疫传感器检测了一种拟除虫菊酯类农药-氰戊菊酯, 通过戊二醛和壳聚糖将氰戊菊酯抗体交联固定在玻碳电极(glassy carbon electrode, GCE)上, 利用交流阻抗法对氰戊菊酯进行检测, 最低检测限是 0.80 μg/L。该免疫传感器具有灵敏度高、线性范围宽且重复性好等特点。另外, 利用核酸适配体传感器检测兽药残留也有相关报道。Zhou 等^[71]建立了一种基于多壁碳纳米管修饰的电化学四环素适配体传感器, 其对四环素的检出限是 5 nmol/L。

4 总结

目前, 随着我国水产品养殖规模的扩大、集约化程度的提高, 养殖环节的水环境、病害防治、养殖用药和饲料生产使用等方面的一些矛盾和问题逐渐被暴露出来, 对于这些水产品养殖业源头性因素的控制至关重要。

对于养殖环节主要安全风险来源的快速检测技术, 酶免疫分析法(ELISA 和 CLEIA 等)和试纸法中的胶体金免疫层析法是目前研究较成熟的快检方法, 在水产饲料及养殖水产品农药、兽药、食品添加剂及非食用物质检测中的研究和应用比较广泛。但相对于传统色谱仪器分析法而言, 这些方法的灵敏度和可重复性等有待提高, 且对样品的前处理仍不够简单。与基于化学性和生物性的快速检测方法相比, 基于物理性的光谱分析法如近红外光谱法和拉曼光谱法能较好满足样品前处理简单化、非破坏性、非接触式等快检要求, 在快检领域可实现进一步发展与推广。近红外光谱法和拉曼光谱法在食品安全检测中除了可用于药物残留检测外, 在掺假分析及微生物检测方面也有应用。目前近红外光谱能用于多组分同时在线检测, 相应成熟的在线检测装备正在进一步开发和应用; 拉曼光谱法中根据增强拉曼散射信号强度的不同方式分为共振拉曼光谱、表面增强拉曼光谱等, 但拉曼光谱在企事业单位及监管部门实际检测工作中的应用还不是很多。对于水产品或食品的快

速检测方法的相应设备也需满足小型便携化、简单化操作以及结果的精确度和重复性与国家标准方法接近的要求。

总之, 水产品的生产加工应做到规范化、标准化, 同时水产品质量检测体系包括快速检测技术体系的建设也需要从方法的标准化和法律效力等方面逐步完善, 这样不仅能推进快检产品的规范标准化发展, 也保障了行政执法的力度不会因为快检结果不具有法律效力而受到影响, 最终促进我国养殖水产品产业安全持续发展。

参考文献

- [1] 中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议-10-2015[Z].
The advice of CPC central committee on the formulation of the thirteenth five-year plan for national economic and social development-10-2015 [Z].
- [2] 中国国家统计局. 2014 年国民经济和社会发展统计公报[R]. 2015-2-26.
National Bureau Of Statistics Of China. Statistical bulletin of the national economic and social development in 2014 [R]. 2015-2-26.
- [3] 联合国粮食及农业组织. 世界渔业和水产养殖状况[Z].
FAO. World fishery and aquaculture condition [Z].
- [4] 农业部第 31 号令-7-2003 水产养殖质量安全管理规定[S].
The Ministry of Agriculture Order No.31-7-2003 Aquaculture quality safety management stipulation [S].
- [5] NY 5052-2001 无公害食品 海水养殖用水水质[S].
NY 5052-2001 Pollution-free food Seawater aquaculture water quality [S].
- [6] NY 5051-2001 无公害食品 淡水养殖用水水质[S].
NY 5051-2001 Pollution-free food Freshwater aquaculture water quality [S].
- [7] 胡海燕, 单宝田, 王修林, 等. 工厂化海水养殖水处理常用制剂[J]. 海洋科学, 2004, 28(12): 61-62.
Hu HY, Shan BT, Wang XL, *et al.* Review of common reagents used in wastewater treatment of marine aquaculture [J]. *Marine Sci*, 2004, 28(12): 61-61.
- [8] DB 33/T 721-2008 水产养殖消毒剂使用技术规范[S].
DB 33/T 721-2008 Aquaculture sanitizer using technology standards [S].
- [9] NY5071-2002 无公害食品 渔用药物使用原则[S].
NY5071-2002 Pollution-free food Fishery medicine using regulations [S].
- [10] 食品中可能违法添加的非食用物质和易滥用的食品添加剂名单(第 1-5 批汇总)[EB/OL]. <http://www.nhfpc.gov.cn/sps/s7892/201406/38e5c8a53615486888d93ed05ac9731a.shtml>.2011-4-22.
The list of possible illegally added unedible substance and abusive food additives in food (first-fifth batches summary)[EB/OL]. <http://www.nhfpc.gov.cn/sps/s7892/201406/38e5c8a53615486888d93ed05ac9731a.shtml>.2011-4-22.
- [11] 张影, 杨郸丹, 卢忠林. 广西龙江镉污染事件及反思[J]. 化学教育, 2013, (6): 1-2.
Zhang Y, Yang DD, Lu ZL. Cadmium pollution event and it's introspection in Guangxi Long Rivers [J]. *Chin J Chem Edu*, 2013, (6): 1-2.
- [12] 徐继刚, 王雷, 肖海洋, 等. 我国水环境重金属污染现状及检测技术进展[J]. 环境科学导刊, 2010, 29(5): 104-108.
Xu JG, Wang L, Xiao HY, *et al.* Present situation on heavy metal pollution of Chinese water environment and it's detection methods progress [J]. *Environ Sci Survey*, 2010, 29(5): 104-108.
- [13] 孙博思, 赵丽娟, 任婷. 水环境中重金属检测方法研究进展[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(7): 157-161.
Sun BS, Zhao LJ, Ren T, *et al.* Progress on detection methods of heavy metals in water environment [J]. *Environ Sci Technol*, 2012, 35(7): 157-161.
- [14] 潘葳, 罗钦, 刘文静, 等. 水产品与水产饲料中药物残留问题的分析及对策[J]. 福建农业学报, 2011, 26(6): 1096-1100.
Pan W, Luo Q, Liu WJ, *et al.* Analysis and countermeasure of the problems of drug residues in aquatic product and aquatic feed [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2011, 26(6): 1096-1100.
- [15] 冷进松. 动物饲料和食品安全关系[J]. 北京农业, 2015, 12(上旬刊): 163-164.
Leng JS. The relationship between animal feeds and food safety [J]. *Beijing Agric*, 2015, 12(early): 163-164.
- [16] 谢一荣, 吴锐全, 谢骏, 等. 水产饲料安全的隐患与对策[J]. 广东饲料, 2007, 16(1): 17-19.
Xie YR, Wu RQ, Xie J, *et al.* The hidden dangers and countermeasures of aquatic feeds safety [J]. *Guangdong Feed*, 2007, 16(1): 17-19.
- [17] 孟娣, 谭志军, 刘永涛, 等. 水产品中农药残留限量标准的对比分析[J]. 中国农学通报, 2015, 31(4): 56-62.
Meng D, Tan ZJ, Liu T, *et al.* Comparative analysis of pesticides maximum residue limits in aquatic products [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2015, 31(4): 56-62.
- [18] 桑永玉, 金仁耀. 噬乙醇单克隆抗体的研制及其 ELISA 方法的建立[J]. 核农学报, 2015, 29(6): 1081-1082.
Sang YY, Jin RY. The preparation of monoclonal antibody and the establishment of ELISA for olaquinox [J]. *J Nuclear Agric Sci*, 2015, 29(6): 1081-1082.
- [19] 农业部 176 号公告-2-2002 禁止在饲料和动物饮用水中使用的药物品种目录[S].
The Ministry of Agriculture Announcement No.176-2-2002 Drug varieties catalogue forbidden using in feeds and animal drinking water [S].
- [20] 林毅, 吴万夫. 美国扣留我国水产品事件引发的思考[J]. 食品安全导刊, 2007, (1): 31-32.
Lin Y, Wu WF. Reflection on the event of Chinese aquatic products detained by America [J]. *Food Saf Guide*, 2007, (1): 31-32.
- [21] 农业部 193 号公告-4-2002 食品动物禁用的兽药及其它化合物清单[S].
The Ministry of Agriculture Announcement No.193-4-2002 List of forbidden veterinary drugs and other compounds in animal foods [S].
- [22] 农业部第 2292 号公告-9-2015 在食品动物中停止使用洛美沙星、培氟沙星、氧氟沙星、诺氟沙星 4 种兽药的决定[S].
The Ministry of Agriculture Announcement No.2292-9-2015 The decision of forbidding using lomefloxacin, pefloxacin, norfloxacin, ofloxacin [S].
- [23] 刘欢, 李晋成, 吴立冬, 等. 现场快速检测在水产品药物残留监管中的应用及发展建议[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(8): 2302-2305.
Liu H, Li JC, Wu LD, *et al.* Application and development proposals of on-site fast detection for supervision drug residues in aquatic products [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(8): 2302-2305.
- [24] 程楠, 何景, 董凯, 等. 试纸法在食品安全快速检测中的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 256-259.
Cheng N, He J, Dong K, *et al.* A review on research progress of test strips for rapid food safety detection [J]. *Food Sci*, 2015, 36(1): 256-259.
- [25] 韩业新, 孙志新. 检测水发或水产品中甲醛的快速定性检测试纸的实验研究与应用[J]. 预防医学论坛, 2007, 13(7): 626-627.
Han YX, Sun ZX. Study on the Application of Qualitative Test Paper for Determination of Formaldehyde in Aquatic Products [J]. *Prev Med Trib*, 2007, 13(7): 626-627.

- [26] 王文铮, 胡美珍. 氯离子试纸的研制和应用[J]. 江苏环境科技, 2007, 20(6): 8-9.
Wang WZ, Hu MZ. Preparation and application of a new chloride ion test paper [J]. Jiangsu Environ Sci Technol, 2007, 20(6): 8-9.
- [27] 谢莉, 窦燕峰, 郭会灿, 等. 食品中过氧化氢残留快速检测试纸的研制[J]. 现代食品科技, 2011, 27(9): 1160-1162.
Xie L, Dou YF, Guo HC, *et al.* Preparation of a fast test paper for hydrogen peroxide in food [J]. Mod Food Sci Technol, 2011, 27(9): 1160-1162.
- [28] 晋日亚, 胡双启, 史志坚. 二氧化氯浓度测试卡的制备[J]. 化工环保, 2008, 28(5): 467-470.
Xi RY, Hu SQ, Shi ZJ. Preparation of paper test card for detection of chlorine dioxide concentration [J]. Environ Protect Chem Ind, 2008, 28(5): 467-470.
- [29] 张晓辉, 李余动, 孔蕾, 等. ELISA 和 GICA 快速检测水产品中氯霉素残留的比较[J]. 浙江农业学报, 2005, 17(4): 216-218.
Zhang XH, Li YD, Kong L, *et al.* Comparison of rapid detection of chloramphenicol residues in aquatic products on by ELSIA and GICA [J]. Acta Agric Zhejiangensis, 2005, 17(4): 216-218.
- [30] 李莹, 钟金钢, 张永林, 等. 基于表面等离子体共振的土霉素残留检测[J]. 应用激光, 2008, 28(5): 390-393.
Li Y, Zhong JG, Zhang YL, *et al.* The OTC residue based on Surface Plasmon Resonance [J]. Appl Laser, 2008, 28(5): 390-393.
- [31] 刘霞, 李蕾, 李文进, 等. 表面等离子体共振传感器快速检测农药残留的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(2): 321-325.
Liu X, Li L, Li WJ, *et al.* Research progress on the detection of pesticide residues by surface plasmon resonance sensor [J]. J Food Saf Qual, 2013, 4(2): 321-325.
- [32] 姚婷, 李腾飞, 秦玉昌, 等. 分子印迹表面等离子体共振传感器在食品安全检测中的最新研究进展[J]. 分析测试学报, 2015, 34(2): 237-244.
Yao T, Li TF, Qin YC, *et al.* Recent advances in application of surface plasmon resonance sensors based on molecular imprinted polymers in food safety detection [J]. J Instrum Anal, 2015, 34(2): 237-244.
- [33] 邱思聪, 陈孝建, 陈鹏飞, 等. 分子印迹技术在食品中兽药残留分析中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(6): 2248-2253.
Qiu SC, Chen XJ, Chen PF, *et al.* Application of molecular imprinting technique in residue analysis of veterinary drugs in food [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(6): 2248-2253.
- [34] 栾崇林, 李铭杰, 李仲谨, 等. 分子印迹电化学传感器的研究进展[J]. 化工进展, 2011, 30(2): 353-357.
Luan CL, Li MJ, Li ZJ, *et al.* Progress of molecularly imprinted electrochemical sensor [J]. Chem Ind Eng Prog, 2011, 30(2): 353-357.
- [35] 左雄. 免疫传感器在农产品快速检测中的研究进展[J]. 四川农业科技, 2015, (2): 58-59.
Zuo X. Research progress of immunosensor in the rapid detection of agricultural products [J]. Sichuan Agric Sci Technol, 2015, (2): 58-59.
- [36] 李术, 郭铁鸿, 朱蓓蕾, 等. 压电免疫传感器及其在兽药残留检测中的应用前景[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(2): 272-275.
Li S, Guo TH, Zhu BL, *et al.* Pressure-current immunosensor and its application prospect in detecting veterinary drug residues [J]. J Northeast Agric Univ, 2006, 37(2): 272-275.
- [37] 李兴霞, 王国霞, 潘家荣, 等. 免疫传感器在食品安全检测中的应用[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(5): 122-125.
Li XX, Wang GX, Pan JR, *et al.* Application of immunosensor in the detection of food safety [J]. Food Res Dev, 2005, 26(5): 122-125.
- [38] 祝文琪, 高磊, 王晶, 等. 适配体传感器的研究进展[J]. 中国兽药杂志, 2011, 45(7): 35-40.
Zhu WQ, Gao L, Wang J, *et al.* Advance in aptamer-based biosensors [J]. Chin J Vet Med, 2011, 45(7): 35-40.
- [39] 卢军利, 葛玮东, 孙建霞, 等. 核酸适配体技术在食品有害物质检测中的研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(2): 151-156.
Lu JL, Ge WD, Sun JX, *et al.* Research progress of aptamer in detecting harmful substances in food [J]. J Agric Sci Technol, 2015, 17(2): 151-156.
- [40] 陈天华, 欧阳建文, 唐海涛. 现代生物传感器在食品安全检测中的应用[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2011, 29(1): 70-71.
Chen TH, OuYang JW, Tang HT. Application of modern biosensor in the detection of food safety [J]. J Beijing Tech Bus Univ (Nat Sci Ed), 2011, 29(1): 70-71.
- [41] Kang CY, Xi DL, Chen YY, *et al.* Determination of trace chlorine dioxide based on the plasmon resonance scattering of silver nanoparticles [J]. Talanta, 2008, 74(4): 867-870.
- [42] 丁建军, 王军, 薛静丽, 等. 用于甲醛快速检测的电化学生物传感器的设计[J]. 电子测量技术, 2014, (2): 53-56.
Ding JJ, Wang J, Xue JL, *et al.* Design of an electrochemical biosensors for formaldehyde detection [J]. Elect Mea Technol, 2014, (2): 53-56.
- [43] 段博, 袁斌, 吕松. 试纸法快速检测水中重金属铬[J]. 工业水处理, 2008, 28(10): 68-70.
Duan B, Yuan B, Lv S. Rapid-determination of the heavy metal chromium(VI) in water by test paper [J]. Ind Water Treatment, 2008, 28(10): 68-70.
- [44] 郭玉香, 徐应明, 孙有光, 等. 试纸法检测环境水体中重金属镉[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(2): 541-544.
Guo YX, Xu YM, Sun YG, *et al.* Rapid-determining Cadmium in Aquatic Environment by Test Paper [J]. J Agric Environ Sci, 2006, 25(2): 541-544.
- [45] 向军俭, 陈耀强, 唐勇, 等. 胶体金免疫层析法快速检测水样品中的镉离子[J]. 中国生物制品学杂志, 2010, 23(5): 529-532.
Xiang JJ, Chen YQ, Tang Y, *et al.* Rapid determination of cadmium ion in water samples by colloidal gold immunochromatography [J]. Chin J Biolog, 2010, 23(5): 529-532.
- [46] Tang Y, Zhai YF, Xiang JJ, *et al.* Colloidal gold probe-based immunochromatographic assay for the rapid detection of lead ions in water samples [J]. Environ Pollut, 2010, 158: 207-2077.
- [47] Liu X, Xiang JJ, Tang Y, *et al.* Colloidal gold nanoparticle probe-based immunochromatographic assay for the rapid detection of chromium ions in water and serum samples [J]. Anal Chim Acta, 2012, 745: 99-105.
- [48] 苏帅鹏, 徐斐, 曹慧, 等. 重金属快速检测方法的研究进展[J]. 应用化工, 2013, 42(2): 355-356.
Su SP, Xu F, Cao H, *et al.* Perspective in the rapid methods for the detection of heavy metals [J]. Appl Chem Ind, 2013, 42(2): 355-356.
- [49] Shukor Y, Baharom NA, Rahman FA, *et al.* Development of a heavy metals enzymatic-based assay using papain [J]. Anal Chim Acta, 2006, 566(2): 283-289.
- [50] 寇冬梅. 快速检测重金属离子的酶膜生物传感器及其应用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
Kou DM. Study on fast detection technique for heavy metals and its application using enzymatic membrane biosensor [D]. Chongqing: Southwest University, 2008.
- [51] 刘艳梅, 钟辉, 向军俭. 重金属免疫学快速检测技术研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 306-311.
Liu YM, Zhong H, Xiang JJ. Advances in rapid immunoassay of heavy

- metals [J]. Food Sci, 2014, 35(17): 306-311.
- [52] 王津, 生威, 王俊平, 等. 间接竞争酶联免疫法检测水样中的重金属镉[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 84-86.
Wang J, Sheng W, Wang JP, *et al.* Development of heavy metal cadmium in water samples by indirect competitive enzyme-linked immunosorbent assay [J]. Food Mach, 2012, 28(3): 84-86.
- [53] 方淑兵, 王俊平, 王硕, 等. 重金属汞酶联免疫检测方法的建立[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16): 86-88.
Fang SB, Wang JP, Wang S, *et al.* Development of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of Hg(II) [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(16): 86-88.
- [54] 汤云. 发光细菌在重金属检测中的应用[J]. 仪器仪表与分析检测, 2010, (4): 1-2.
Tang Y. Luminous bacteria in heavy metal detection [J]. Instrum Anal Monit, 2010, (4): 1-2.
- [55] Trang PTK, Berg M, Viet PH, *et al.* Bacterial bioassay for rapid and accurate analysis of arsenic in highly variable groundwater samples [J]. Environ Sci Technol, 2005, 39(19): 7625-7630.
- [56] 金茂俊, 王静, 杨丽华, 等. 化学发光免疫分析方法在食品安全监测中的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(3): 840-845.
Jing MJ, Wang J, Yang LH, *et al.* Latest progress of chemiluminescent immunoassay in food safety detection [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(3): 840-845.
- [57] 张峰, 倪慧, 张斯. 用化学发光免疫法检测有机氯农药 DDTs 的残留量[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(1): 30-34.
Zhang F, Ni H, Zhang S. The detection of DDTs residues by CLIA [J]. J Dalian Ocean Univ, 2011, 26(1): 30-34.
- [58] 瞿建宏, 马小燕, 刘洪波, 等. 水产品中甲萘菊酯残留的 ELISA 快速检测[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(4): 1-4.
Qu JH, Ma XY, Liu HB, *et al.* The fenprothrin rapid detection of residues in aquatic products by ELISA [J]. J Saf Environ, 2007, 7(4): 1-4.
- [59] Li WF, Meng M, He FY, *et al.* Preparation of an anti-diethylstilbestrol monoclonal antibody and development of an indirect competitive ELISA to detect diethylstilbestrol in biological samples [J]. Anal Chem, 2011, 56(8): 749-754.
- [60] 万宇平, 刘宁, 陶光灿, 等. 动物组织中 β -兴奋剂类药物多残留酶联免疫检测方法的建立[J]. 河南农业科学, 2013, 42(2): 132-135.
Wan YP, Liu N, Tao GC, *et al.* Determination of β -agonists Multi-residue in animal tissue by enzyme-linked immunosorbent assay [J]. J Henan Agric Sci, 2013, 42(2): 132-135.
- [61] 萨仁托娜, 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): 486-490.
Sa RTN, Zhang F, Zheng YH, *et al.* Comparison research of CIEIA and ELISA in the detection of aquatic products' medicine residue [J]. J Dalian Ocean Univ, 2014, 29(5): 486-490.
- [62] 吕芳, 徐锐, 林洪, 等. 水产品中孔雀石绿残留酶联免疫检测的基质干扰及消除方法[J]. 中国渔业质量与标准, 2013, 3(1): 59-63.
Lv F, Xu R, Lin H, *et al.* Matrix interference and elimination solutions in the detection of malachite green in aquatic products by ELISA [J]. Chin Fish Qual Stand, 2013, 3(1): 59-63.
- [63] 樊淑华, 王永立. 胶体金免疫层析技术应用研究进展[J]. 动物医学进展, 2014, 35(10): 99-103.
Fan SH, Wang YL. Application and research progress of colloidal-gold immunochromatographic technology [J]. Prog Vet Med, 2014, 35(10): 99-103.
- [64] 周彤, 危丽俊, 程祥磊. 唑乙醇残留速测金标试纸条的研制[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, 23(17): 3322-3324.
Zhou T, Wei LJ, Cheng XL. Development of colloidal gold immunochromatographic strip for rapid detection of olaquinox residues [J]. Chin J Health Lab Tec, 2013, 23(17): 3322-3324.
- [65] 吴茂生, 何方洋, 赵正苗, 等. 胶体金免疫层析法快速检测水产品中喹啉妥因代谢物残留[J]. 福建水产, 2012, 34(4): 290-294.
Wu MS, He FY, Zhao ZM, *et al.* Colloidal-gold immunochromatographic for rapid detection of nitrofurantion metabolite residue [J]. J Fujian Fish, 2012, 34(4): 290-294.
- [66] 张敏, 李翹, 盛慧萍. 磺胺类药物胶体金快速检测试剂条的研制及在水产品中的应用[J]. 中国农学通报, 2013, 29(8): 75-79.
Zhang M, Li Q, Sheng HP. Development and application of colloidal gold rapid test strip for sulfonamides in aquatic products [J]. Chin Agric Sci Bull, 2013, 29(8): 75-79.
- [67] 朱馨乐, 孙雷, 刘琪. 分子印迹技术在兽药残留检测方面的研究进展[J]. 中国兽药杂志, 2007, 41(6): 34-37.
Zhu XL, Sun L, Liu Q. Research progress of molecular imprinting technique in the determination of veterinary drug residues [J]. Chin J Vet Med, 2007, 41(6): 34-37.
- [68] 何丛薇, 王姣姣, 赵春娟, 等. 分子印迹技术在农兽药残留检测中的应用[J]. 中国畜牧业, 2015, (5): 52-54.
He CW, Wang JJ, Zhao CJ, *et al.* The application of molecular imprinting technique in the determination of veterinary drug residues [J]. China Anim Ind, 2015, (5): 52-54.
- [69] 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): 338-341.
Zhang LJ, Lu TH, Li SY, *et al.* The preparation of CAP-MIP polymeric membrane and the detection of CAP [J]. Chin J Appl Chem, 2011, 28(3): 338-341.
- [70] Wang MR, Kang HM, Xu D, *et al.* Label-free impedimetric immunosensor for sensitive detection of fenvalerate in tea [J]. Food Chem, 2013, 141(1): 84-90.
- [71] Zhou L, Li DJ, Gai L, *et al.* Electrochemical aptasensor for the detection of tetracycline with multi-walled carbon nanotubes amplification [J]. Sensors Actuators B, 2012, 162(1): 201-208.

(责任编辑: 姚菲)

作者简介



高丽霞, 硕士研究生, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: guilicaixia@163.com



黄登宇, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为食品卫生检测。

E-mail: Huanggy1110@126.com