

综述

食品中食源性寄生虫的检测技术进展

蔡煦玥,陆馨晨,陆奇,刘汉昭,于思雨

(上海市浦东新区疾病预防控制中心(上海市浦东新区卫生健康监督所),上海 200136)

摘要:食源性寄生虫病(FBPDs)是重要的公共卫生问题之一,也是寄生虫病防治工作面临的新挑战。FBPDs 潜伏期长、无疫苗、无终身免疫力、对人群健康可造成严重危害的特点,提高了对该疾病的预防难度。如何快速检测食品中的寄生虫是未来防控工作主要发展趋势。本文对目前食源性寄生虫领域主要运用的检测技术,如病原学、免疫学以及分子生物学等检测技术进行综述,以期推动先进技术在食品检测中的广泛应用,保障食品安全。

关键词:食源性寄生虫;检测技术;食品安全

中图分类号:R155 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-8456(2025)07-0681-10

DOI:10.13590/j.cjfh.2025.07.013

Progress in the detection of foodborne parasites in foods

CAI Xuyue, LU Xinchen, LU Qi, LIU Hanzhao, YU Siyu

(Pudong New Area Center for Disease Control and Prevention (Health Inspection Agency in Pudong New District), Shanghai 200136, China)

Abstract: Foodborne parasitic diseases is one of the important public health problems and also a new challenge for the prevention and control of parasitic diseases. Its characteristics of long incubation time in humans, with no vaccine, no lifelong immunity and seriously harmful to the health of the population, makes prevention particularly difficult. Rapid and accurate detection of parasites in food is the trend of their future prevention and control. This article reviews the techniques used in the detection of foodborne parasites, including pathogen detection, immunological detection, molecular biology detection, etc., so as to promote the wide application of advanced technology in food detection and ensure food safety.

Key words: Foodborne parasites; technical means; food safety

食源性寄生虫病(Foodborne parasitic diseases, FBPDs)是指通过生食或半生食含有寄生虫的食物而感染的疾病。目前,已知约有 300 种寄生虫会感染人类和动物^[1]。联合国粮食及农业组织和世界卫生组织基于全球疾病数量、发病率和死亡率排出了全球食源性寄生虫(Foodborne parasites, FBPs)前 4 名:猪带绦虫、细粒棘球绦虫、多房棘球绦虫和弓形虫^[2]。我国常见 FBPs 包括华支睾吸虫、并殖吸虫、带绦虫、旋毛虫、弓形虫、广州管圆线虫 6 种^[3],其中华支睾吸虫,又称肝吸虫,在我国流行最严重^[4]。

FBPDs 已成为一个不容忽视的公共卫生问题^[5]。目前对于食品中寄生虫的监测主要还是以病原学检测方法为主,不但耗时耗力,而且要求检验人员技术能力较强、经验丰富,可能出现误诊、漏

诊,从而增加受污染的食品流入市场的概率。在欧洲,93% 的猎人会赠送或出售未经寄生虫检测的肉类和自制产品(如生香肠),因此可能至少有 12 t 受感染的肉类引入市场^[6]。但如果能使用快速检测技术提前进行检测,便可切断传播途径,从而预防疾病。我国部分地区如上海市^[7-8]、江门市^[9]、龙岩市^[10]、深圳市^[11]、连云港市^[12]、云南省^[13]、吉林省^[14]、贵州省^[15]、福建省^[16]均发现食品中存在不同程度的寄生虫感染,其中,淡水类产品(如淡水鱼)感染寄生虫以华支睾吸虫为主;海水类产品感染寄生虫以异尖线虫为主;腌制类产品(如黄泥螺、蟹糊)感染寄生虫以棘口吸虫囊蚴为主。而淡水蟹、醉蟹、醉虾中的并殖吸虫囊蚴,猪肉、牛肉中的猪带绦虫、牛带绦虫囊尾蚴,水生蔬菜(如菱角、荸荠等)中的姜

收稿日期:2023-02-20

基金项目:上海市浦东新区卫生健康委公共卫生高原学科(PWYggg2021-01)

作者简介:蔡煦玥 女 卫生检验技师 研究方向为寄生虫病检测 E-mail: 976347519@qq.com

通信作者:于思雨 女 副主任医师 研究方向为寄生虫病防治 E-mail: cdcecho@163.com

片虫囊蚴,淡水螺中的广州管圆线虫幼虫,果蔬中的贾第鞭毛虫一般未检出或检出率极低。2015年全国第三次人体重点寄生虫病现况调查显示^[17]:18个省(直辖市、自治区)中华支睾吸虫加权感染率前3名分别是广西、广东和黑龙江。我国华支睾吸虫感染率0.6%(3 466/617 441),主要分布在华南和东北两大片区。

如果检测技术落后且不完善,便无法及时诊断,不仅会延误患者治疗,还可能会造成区域暴发或流行,甚至引起社会恐慌。FBPs的检测方法包括病原学检验^[18-19]、免疫学检测^[20-21]、分子生物学检测^[22-23]等,但往往只依靠1种方法进行检测难免漏诊、误诊,因此需多种方法联合判断。实际工作中,往往有大规模的食品需要检测,因此快速检测技术需得到大力的发展和广泛应用。本文就目前应用的相关检测技术进行阐述。

1 病原学检测方法

病原学检测最原始、最直接,虽然费力但通常是检测的首选^[1],包括直接压片法、消化法、烛光法、挤压烛光法、机械分离沉降法和浓缩集卵法^[24]。该方法简单低廉,但易受采样部位、采样量等因素影响,且要求检测人员对镜下寄生虫形态的鉴别能力较强,因此易漏检、误检,且难以进行大规模的食品检测^[25]。

直接压片法是直接将样品压片后镜检,以观察到成虫或虫卵为判定依据。常用于肉类中囊尾蚴和旋毛虫幼虫^[26]、鱼肉中寄生虫囊蚴的快速检测^[27]。余文武等^[28]采用压片法检测当地各类淡水鱼类虾中的华支睾吸虫囊蚴。吉丽香等^[29]采用压片法检测冷冻鲜牦牛肉中的旋毛虫。

消化法是利用蛋白酶消化液直接消化样品,消化时间不超过24 h,虫体或囊蚴因其结构的特殊性,不易被同步消化掉,从而被分离鉴别^[27]。该法适用于检测肉类中的囊尾蚴、旋毛虫、住肉孢子虫、弓形虫^[18],以及鱼类和贝类中的吸虫囊蚴、有棘颚口线虫包囊、广州管圆线虫幼虫、阔节裂头绦虫裂头蚴等^[24]。该法优点为有效提高检出率,但所需时间较长,不适合大规模检测^[27]。VASILEV等^[30]比较抗气溶胶胃蛋白酶粉与传统胃蛋白酶粉在人工消化法中的功效,在含有特定数量活旋毛虫幼虫的猪隔膜样品中进行测试,结果发现抗气溶胶胃蛋白酶粉使用简单、有效且方便,并表现出良好的溶解性和幼虫回收率,且对分析人员更安全。

烛光法分为白光烛光法和紫外光烛光法,适用于检测鱼肉中的吸虫囊蚴、有棘颚口线虫包囊、广

州管圆线虫幼虫和阔节裂头绦虫裂头蚴等。白光烛光法是利用白色透射光和反射光的共同作用,使虫体呈不同颜色或阴影,适用于检测新鲜或冷冻的白色鱼肉样本;紫外光烛光法是利用UV光在暗房中观察样品各个部位,虫体会发出蓝或绿色荧光从而辨别,适用于检测深色鱼肉的样本^[24,27]。虽简便快速,但准确率较低^[31]。MERCKEN等^[32]通过烛光法检测615份鱼肉中的蛔虫幼虫,发现该方法敏感度为31%。

挤压烛光法是将样品夹于有机玻璃夹板内,通过观察白色透光台上阴影部分辨别虫体。主要用于检验半透明贝类肉中的吸虫囊蚴^[24]。由加纳标准局提交的《鱼类和水产品检测方法——第3部分:用烛光法测定有鳍鱼中的寄生虫》(CD-ARS 1132-3:2023)标准草案,规定了通过烛光法测定鱼类和水产品中寄生虫的方法,适用于加工成鱼片、里脊鱼排、大块或碎肉的白肉^[33]。

机械分离沉降法是通过过滤、沉降等手段将虫体或囊蚴分离出来,在显微镜下鉴别,操作简单、快速。适用于检测水果、蔬菜中的寄生虫囊蚴^[19],淡水甲壳类中的并殖吸虫囊蚴,螺类吸虫囊蚴、线虫幼虫和鱼肉中的吸虫囊蚴、有棘颚口线虫包囊、广州管圆线虫幼虫和阔节裂头绦虫裂头蚴等^[24,27]。NASSER^[34]发现0.1%Alconox洗脱液相比1 mol/L甘氨酸溶液和过滤洗脱缓冲液,洗脱叶菜类蔬菜中的隐孢子虫卵囊效率更高,可达72.6%。美国食品药品监督管理局采用该方法检测鱼肉中的异尖线虫幼虫,但不适用于腌制鲱鱼等未经去骨而用盐处理的鱼类产品^[35]。

浓缩集卵法是通过静置的方式,使虫体自然沉降,沉淀物进行染色后在显微镜下鉴别形态。适用于检测新鲜蔬菜中的毛首鞭形线虫卵和蛔虫卵^[24]。MARTIN等^[36]在挪威龙虾血卵涡鞭虫研究中,结合离心沉淀法与16S rRNA测序,提示沉淀浓缩样本可作为微生物组预警分析的可靠基础。

2 免疫学检测方法

2.1 免疫磁珠分离技术

免疫磁珠(Immunomagnetic beads, IMB)是一种均匀、具有超顺磁性及保护性壳的球形小粒子,由载体微球和免疫配基结合而成。免疫磁珠分离技术(Immunomagnetic beads separation techniques, IMBS)则是利用IMBS上包被的特异性抗体与抗原发生亲和反应,从复杂的样品中分离到目标抗原,再利用磁珠的磁响应性,实现对目标抗原的富集^[37]。该技术检测时间短、操作简单、具有高度专

一性及固相化试剂所特有的优点^[37-38],常与其他检测方法结合使用,广泛应用于食源性致病菌的检测中,但对食品中寄生虫的检测还较少。

MARQUES 等^[39]采用 IMBS 浓缩绿叶蔬菜和水果中的弓形虫卵囊,同时达到去除潜在的隐孢子虫和贾第鞭毛虫卵囊的目的。姜阜杉等^[38]通过化学结合使弓形虫 CST1 和 BSR4 多克隆抗体与磁珠相结合,利用此种 IMBS 富集猪肉样品中的弓形虫包囊和缓殖子,将富集后的样品再提取基因组 DNA,进行后续分子生物学方法的检测,极大提高了检测的敏感性,解决了因组织包囊在猪体内的浓度很低而使检出率低的问题。

2.2 免疫层析技术

免疫层析技术(Immunochemical assay, ICA)操作简单,便于携带,适合现场检测,具有较好的应用前景。但其常用的酶信号增强和银增强依赖后续操作来实现信号增强,操作烦琐。同时在多靶标检测中往往存在灵敏度低的问题^[40]。

孙恒昌等^[41]以草鱼为模型,制备纯化了兔抗草鱼 IgM 的 IgG 多克隆抗体,建立了淡水鱼华支睾吸虫囊蚴感染的免疫层析试纸条技术,能在 10 min 左右完成对草鱼血清中特异抗体的检测,且血清稀释到 1:500 后依然能被检测出,特异性较好。寇金华^[42]研制猪弓形虫感染免疫胶体金试纸条,初步应用柠檬酸三钠还原法制备 40 nm 粒径的胶体金溶液,标记抗弓形虫重组蛋白 SAG3 的单克隆抗体(Anti-A-SAG3-7)并对其标记条件进行优化,该方法的敏感性达 1:160,适用于时间紧、样品数量大的检测,为猪弓形虫病的早期诊断提供了一种快捷、实用的方法。WANG 等^[43]开发了基于铕(Ⅲ)螯合微粒的新型侧流免疫试纸,适用于猪血清和全血样本中旋毛虫的快速检测,3 min 即可完成。

2.3 其他免疫学检测技术

主要包括免疫标记技术和酶联免疫吸附法(Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA)。纳米金标记技术具有高灵敏、高通量、高效率的优势^[44],因纳米金独特的理化性质和制备方法简单、性质稳定、检测速度快的特点广泛应用于食品检测中。KOCHANOWSKI 等^[45]分别建立了化学发光夹心 ELISA 法和化学发光竞争 ELISA 法检测人工污染的鱼罐头中的简单异尖线虫,发现化学发光夹心 ELISA 法更适合。DUONG 等^[46]发现荧光素酶融合刚地弓形虫抗原 rNluc-GRA6、rNluc-GRA7 和 rNluc-GRA8 较商业 ELISA 检测试剂盒具有更高的灵敏度(90.0%)和特异性(96.3%),并成功建立了快速荧光素酶联抗体捕获试验(Rapid-LACA)检测猪肉中的弓形虫,

30 min 内即可完成。刘莉娜^[47]通过重组曼氏迭宫绦虫裂头蚴半胱氨酸蛋白酶(Recombinant sparganum cysteine protease, rSeCP)建立了检测裂头蚴抗体 IgG 的 rSeCP-ELISA 法,对裂头蚴感染小鼠的血清进行检测,抗体阳性率为 96.67%(29/30),特异性为 100%。

3 分子生物学检测方法

3.1 普通聚合酶链式反应

普通聚合酶链式反应(Polymerase chain reaction, PCR)是通过对 PCR 扩增产物进行电泳检测,并结合凝胶成像分析技术,对目标 DNA 进行定性检测的一种技术,具有高效、快速、高灵敏度和高特异性等优点^[48],是食品寄生虫检测中除病原学检测外使用最多的方法,无需镜检和专家鉴定,但该方法无法定量检测且过程耗时较多^[27]。此外,引物设计的缺陷可能会导致非特异性条带的产生,从而出现假阳性;食品中的某些成分如钙、镁离子螯合剂,DNA 酶或 DNA 聚合酶抑制物等可能对 PCR 反应产生抑制作用,使检测结果呈现假阴性^[49]。

雷燕等^[50]在对采样中发现的裂头蚴进行形态学鉴定的基础上,采用 PCR 对线粒体 nad5、rrn S 和 COXI 基因进行扩增并测序,构建系统发育树进行遗传分析,建立蛙源裂头蚴 PCR 检测方法,为食品来源的裂头蚴的分子生物学检测提供科学依据。USECHE 等^[51]对用于检测肉类和水样中刚地弓形虫 B1 基因的 PCR 方法进行标准化,确定了 PCR 不同组分的最佳反应条件(100 μm dNTP, 0.4 μm 引物, 0.5 U Taq 聚合酶)。RIGKOU 等^[52]采用 PCR 和 Sanger 测序检测葡萄牙海岸捕获的 50 条蓝鳕鱼内脏中的异尖线虫,显示异尖线虫对幼鱼的感染率为 100%。分子分析确定 68.1% 的幼虫为单纯异尖线虫(*Anisakis simplex*),18.1% 为派氏异尖线虫(*Anisakis pegreffii*),13.8% 为内弯宫脂线虫(*Hysterothylacium aduncum*, *Haducum*),*H. aduncum* 在葡萄牙蓝鳕鱼中首次报道。

3.2 巢式 PCR

巢式聚合酶链式反应(Nested polymerase chain reaction, Nested PCR)是指利用外引物和内引物依次进行 PCR 扩增,将两次特异性扩增后的最终产物进行电泳检测,进一步提高反应的特异性和灵敏度,适用于检测低荷虫数的样品^[53]。对于普通 PCR 所难以扩增出的样品,可以尝试用巢式 PCR 进行扩增与检测,但巢式 PCR 需要进行两轮扩增,涉及更多的引物和反应试剂,因此操作过程相对烦琐且成本较高,也容易在打开反应管添加试剂、转移扩增

产物等操作过程中增加样本间交叉污染的风险,从而产生假阳性结果^[48]。

江苏省《南美白对虾肝肠胞虫巢式聚合酶链式反应(PCR)检测方法》(DB32/T 3802—2020)规定了南美白对虾样品中肝肠胞虫巢式PCR检测方法的原理、试剂材料、仪器设备、操作步骤和结果判定。其技术原理是以样品DNA为模板,针对其胞壁蛋白基因设计两对特异性巢式寡核苷酸序列为引物,在4种脱氧核糖核苷三磷酸存在下,利用DNA聚合酶的合成作用,经过先后两步数十次变性、退火和延伸的反应循环,使模板上介于两对引物间的DNA片段得到特异性巢式扩增,通过电泳检测扩增片段是否存在^[54]。MERKS等^[55]使用巢式PCR和DNA测序技术,对加拿大三省市售的新鲜活贝(贻贝/牡蛎)中的贾第鞭毛虫、隐孢子虫和弓形虫特异性序列进行检测,并通过落射荧光显微镜验证PCR阳性样本中完整包囊与卵囊的存在,所有受检省份的贝类样本均检出上述寄生虫DNA。

3.3 多重PCR

多重PCR就在一个PCR反应体系里,同时扩增多个核酸片段或同一核酸片段的不同区域,克服了普通PCR缺点,实现了对多种病原微生物的同时检测。但影响因素较多,包括不同基因的引物对之间浓度、底物浓度和退火温度的协调作用,需要对反应体系和反应条件进行多次优化才能有较高的特异性,且需精密仪器,不适合在环境复杂的检测现场使用^[56]。

高俊峰等^[57]建立了淡水鱼中东方次睾吸虫、华支睾吸虫和日本全冠吸虫的三重PCR检测方法,能分别扩增到508、311和208 bp的目的条带,3种吸虫囊蚴重组质粒标准品检测下限均为 10^4 copies/ μL 。用该法检测52尾淡水鱼样品中吸虫囊蚴的感染情况,结果共30尾阳性,其中有25尾是两种或三种吸虫囊蚴混合感染。CROTTI等^[58]使用多重PCR检测野生食肉动物尸体内的带绦虫属和细粒棘球绦虫,利用nad1、rrnS和nad5基因序列片段进行分子鉴定,阳性率为48%(134/279)。胡坤敏^[59]建立了检测卫氏并殖吸虫、斯氏并殖吸虫和三平正并殖吸虫囊蚴的多重荧光定量PCR方法,检测到的最低浓度为:卫氏并殖吸虫 3.05×10^2 copies/ μL 、斯氏并殖吸虫 3.21×10^3 copies/ μL 、三平正并殖吸虫 3.22×10^2 copies/ μL ,为溪蟹中并殖吸虫囊蚴的快速鉴别提供技术支持。

3.4 环介导等温扩增技术

环介导等温扩增技术(Loop-mediated isothermal amplification,LAMP)是用一套4条特异性引物与靶

基因的6个不同区域退火杂交,并在活性功能的DNA聚合酶的作用下,实现等温条件下扩增DNA分子的一种技术^[60],一般60 min左右就能完成整个反应。与PCR法相比,不受实验室环境、仪器设备等方面的限制,具有便捷快速和高灵敏度的优点,更适用于低浓度的DNA检测和现场检测。但存在开盖易造成污染、引物设计复杂且通量不高、所用时间仍然过长等问题,使LAMP难以得到更好的推广应用^[61]。

LALONDE等^[62]建立了由贾第鞭毛虫*EF1α*基因的LAMP法检测绿叶蔬菜中的贾第鞭毛虫,该法对长叶莴苣和春季蔬菜等嫩绿叶蔬菜更敏感。朱海等^[63]建立了一种检测淡水鱼中华支睾吸虫囊蚴的LAMP方法,以华支睾吸虫ITS2基因序列为靶序列,比较3组合成引物Cs-1、Cs-2、Cs-3,发现Cs-3的灵敏度及特异度最优,以其建立的反应体系检测华支睾吸虫成虫DNA的最低检出浓度可达到 3.33×10^{-4} ng/ μL ,敏感性和特异性与PCR法一致,均为100%。乔艳等^[64]将LAMP结合流动试纸条(Lateral flow dipstick,LFD)建立了海鱼中简单异尖线虫或派氏异尖线虫的快检技术LAMP-LFD,总检测时间在50 min内,包括40 min的核酸扩增,5 min的探针杂交和3~5 min的LFD检测,检测灵敏度可达单条虫体基因组DNA的 10^{-5} 倍。

3.5 重组酶聚合酶扩增

重组酶聚合酶扩增(Recombinase polymerase amplification,RPA)是在高效的重组酶参与下,不需要模板链的热变性,可在恒温(25~42 °C)条件下快速扩增出目的片段,该技术耗时短、操作简便、灵敏度和特异度高,适合用于现场快速检测^[65-66]。但能够扩增的DNA片段较小,引物设计不易,至今仍无专门的引物设计软件,而且容易受到气溶胶的污染而出现假阳性^[67-68]。

CHEN等^[69]以rDNA内转录间隔区(Internal transcribed spacer,ITS)区域为靶标,将SYBR Green I与RPA结合快速检测鱼类样品中的异尖线虫,37°C 20 min内可完成,阳性呈绿色,阴性呈无色。张春玲等^[70]根据华支睾吸虫囊蚴的COX-1基因序列设计引物,建立检测华支睾吸虫囊蚴的RPA方法,5 min可看到目的片段,灵敏度可达到2.75 ng/ μL ;对麦穗鱼样品进行检测,可视化检测效果良好,阳性RPA检测管呈现黄绿色荧光,阴性呈橘色。王金红^[65]将扩增产物与荧光探针结合,建立基于弓形虫B1基因的Exo-RPA检测方法,并对180份肉类样品进行弓形虫检测,阳性率为7.8%(14/180),结果与荧光定量PCR检测一致。该法有良好的敏感性、特异

性和重复性,最低检测限达到 10^2 copies/ μL ,其灵敏度是荧光定量 PCR 的 10 倍。

3.6 重组酶介导链替换核酸扩增技术

重组酶介导链替换核酸扩增技术(Recombinase-aided isothermal amplification, RAA)是一种最新体外等温扩增技术,无需通过反复升温和降温解链便能实现在同一个温度下持续扩增,反应温度较 LAMP 法更接近于室温,反应时间更短^[71],引物设计更简单,最大限度地避免了气溶胶污染问题,操作简便且稳定性好。但难以扩增较大 DNA 片段,易出现假阳性,且目前也暂无专门的引物设计软件^[68]。

WANG 等^[72]建立实时 RAA 方法检测猫和猪血液中的弓形虫,36 °C 反应 25 min,最低检测限可达 10^2 弓形虫基因组。丁昕等^[73]选择完全国产化的重组酶为基础,建立了一种可用于检测细粒棘球绦虫核酸的荧光 RAA 法,39 °C 反应 20 min 即可实现特异性扩增,检测敏感性可达 0.1 ng/ μL 基因组 DNA,且该方法可成功检出细粒棘球绦虫包囊中 DNA。邓艳等^[74]首次建立了针对斯氏并殖吸虫 *cox1* 基因的荧光 RAA 检测方法,从溪蟹样本中提取基因组 DNA 进行分子鉴定,反应 10~15 min 即可观察到目的片段扩增与否,是目前并殖吸虫核酸检测中所需时间最短的方法,在溪蟹现场快速检测与虫种鉴定中具有潜在应用价值。

3.7 生物芯片技术

生物芯片技术主要分为 DNA 芯片法、蛋白质芯片法和芯片实验室法^[75]。其原理是采用原位合成或微矩阵点样等方法,将大量生物大分子按照一定顺序固定在支持物表面,组成二维分子排列,与标记好的待测样品中的靶分子杂交,通过特定的仪器(如激光共聚焦扫描)对杂交信号的强度进行快速、并行、高效的检测分析,判断样品中靶分子的数量,从而达到分析检测的目的^[76]。该技术具有高通量、自动化、微量量化等特点^[77],适合较大规模样品检测,但成本昂贵,基层普及难度大。

龙晓蕾等^[78]建立了鱼类华支睾吸虫囊蚴的分子生物学检测方法,选择华支睾吸虫的线粒体细胞色素 C 氧化酶第 I 亚基(*Cox1*)基因和烟酰胺腺嘌呤二核苷酸脱氢酶第 I 亚基(*Nad1*)基因的部分序列作为扩增位点,对鱼类肌肉中华支睾吸虫囊蚴的感染情况进行检测,结果发现,较 *Nad1* 基因,基于 *Cox1* 基因建立的序列分析法检出率更高,其特异性和灵敏度均更优。因此,更推荐 *Cox1* 基因作为鱼类中华支睾吸虫囊蚴的检测靶标。SIAVASH 等^[79]设计了基于 3D 金纳米/微岛(Nano-/microislands, NMIs)的新型电化学微流控适体传感器,可检测自来水中

的微小隐孢子虫,特异性较高。ARENA-ORTIZ 等^[80]设计了一种包含 38 000 个探针的 DNA 微阵列,可检测自然水中的线虫、扁形蠕虫等多种病原体,为及时评估水源性病原体的暴露危险提供了依据。

4 展望

FBPDs 种类多、分布广、危害大^[81]。寄生虫可以通过不同食物链感染人类,如“从农场到餐桌”“从森林到餐桌”“从池塘、海洋、淡水到餐桌”等^[82]。控制传染源、切断传播途径可以有效预防 FBPDs,因此,快速检测技术的研发与应用是未来食品中寄生虫诊断的重要研究方向。

传统的病原学检测方法受制于检验人员的技术水平,主观性强,不适用于现场检测。免疫学检测方法中的 IMBS 快捷灵敏,常与其他检测方法联用,但需要多种抗体标记不需要的细胞^[83]。ICA 也有越来越多的标记材料被应用,尤其是纳米金,现已有基于双功能纳米探针(如双信号、磁光双功能)的 ICA 在食品安全检测中应用^[84]。此外,ICA 可与生物芯片技术结合,往高通量发展,如微阵列免疫层析试纸条,可通过严格制备高特异性的单克隆抗体、单链可变片段、纳米抗体或适配体来代替传统的抗体制备技术从而解决高通量带来灵敏度低的问题^[40]。分子生物学技术特异性强、灵敏度高,具备规模化,适合大样本检测,是食品中寄生虫检测领域未来的一大热点趋势。普通 PCR 的灵敏度和特异度较高,可以通过优化反应条件,提高扩增效率。巢式 PCR 是普通 PCR 的改良模式,特异性和灵敏度更高。多重 PCR 技术可一次检测多种病原体,快速高效,与其他技术整合应用,如 LAMP、基因芯片等,可进一步提高灵敏性和可重复性^[56]。LAMP 技术可用肉眼直接判断结果,是较理想的现场检测方法。与流动试纸结合在一起还能进行食品成分分析,打击市场上的“掺假”现象。RPA 和 RAA 反应温度接近人体温度,可尝试使用发热包直接进行扩增反应^[67],建立无须依赖仪器设备的现场快速检测方法。生物芯片技术拥有比仪器检测更快的检测速度,且精准度更高、智能化更强,能实现微型处理的强大优势,虽成本昂贵没有普遍推广,但极具潜力,可成为 FBPs 新型研究方向。

现代食品检验技术应用的发展趋势是高效化、多元化和灵敏化^[85],将来还可与智能设备深度融合,为现场快速检测提供支持。目前食品检测领域尚存需解决的问题,如:(1)标准发展的滞后性,国家标准存在空缺,且现多为多种方法联合使用,但

各标准间尚未形成系统体系;(2)部分检测方法缺少专门的引物设计网站,需要花费研究人员大量时间进行分析;(3)大部分检测只能定性,尚不能定量。

此外,保障食物安全和公共卫生安全不仅依靠先进的检测技术,还需制定、修订和完善食源性寄生虫病原检测技术新标准,以及建立基于完整检测数据基础上的食源性寄生虫监测、预警体系。

参考文献

- [1] VIDYADHARANI G, VIJAYA B H, SATHISHNATH P, et al. Present and pioneer methods of early detection of food borne pathogens[J]. Journal of food science and technology, 2022, 59(6): 2087-2107.
- [2] GOMEZ-MARIN J. Multicriteria-based ranking for risk management of food-borne parasites[M]. Geneva: 2014.
- [3] 黄继磊,王耀,周霞.我国常见食源性寄生虫病流行现状与防治进展[J].中国血吸虫病防治杂志,2021,33(4):424-429.
HUANG J L, WANG Y, ZHOU X. Status and control of common food-borne parasitic diseases in China [J]. Chinese Journal of Schistosomiasis Control, 2021, 33(4): 424-429.
- [4] 陈家旭,蔡玉春,艾琳,等.我国重要人体寄生虫病防控现状与挑战[J].检验医学,2021,36(10):993-1000.
CHEN J X, CAI Y C, AI L, et al. Epidemic status and challenges of important human parasitic diseases in China [J]. Laboratory Medicine, 2021, 36(10): 993-1000.
- [5] TANG Z L, HUANG Y, YU X B. Current status and perspectives of Clonorchis sinensis and clonorchiasis: epidemiology, pathogenesis, omics, prevention and control[J]. Infectious diseases of poverty, 2016, 5(1): 71.
- [6] VIEIRA-PINTO M, FERNANDES A, SANTOS M H, et al. Trichinella britovi infection in wild boar in Portugal[J]. Zoonoses Public Health, 2021, 68(2): 103-109.
- [7] 王真瑜,吴寰宇,江莉,等.2015—2019年上海市市售食品寄生虫感染监测分析[J].中国寄生虫学与寄生虫病杂志,2021,39(3):347-351.
WANG Z Y, WU H Y, JIANG L, et al. Surveillance and analysis of parasitic infection in food on market in Shanghai during 2015—2019 [J]. Chinese Journal of Parasitology and Parasitic Diseases, 2021, 39(3): 347-351.
- [8] 戴思敏,余晴,王真瑜,等.2020—2023年上海市市售水产品寄生虫感染监测及居民食源性寄生虫病认知和行为调查[J].中国血吸虫病防治杂志,2024,36(6):631-636.
DAI S M, YU Q, WANG Z Y, et al. Surveillance of parasitic infections in market-sold aquatic products and knowledge and practice towards food-borne parasitic diseases among residents in Shanghai Municipality from 2020 to 2023 [J]. Chinese Journal of Schistosomiasis Control, 2024, 36(6): 631-636.
- [9] 关博宇,梁柏年,赵秀云,等.江门市市售食品食源性寄生虫污染状况调查[J].疾病监测与控制,2017,11(3):215-217.
GUAN B Y, LIANG B N, ZHAO X Y, et al. Investigation on food-borne parasite contamination in food sold in Jiangmen City [J]. Diseases Monitor & Control, 2017, 11(3): 215-217.
- [10] 吴丽红,何春荣,黄升华,等.龙岩市市售食品中食源性寄生虫调查分析[J].医学动物防制,2016,32(11):1272-1273.
WU L H, HE C R, HUANG K H, et al. Preliminary report and analysis on food borne parasites in Longyan City [J]. Journal of Medical Pest Control, 2016, 32(11): 1272-1273.
- [11] 罗贤如,黄薇,张锦周,等.深圳市市售食品食源性寄生虫监测结果[J].职业与健康,2015,31(16):2205-2207.
LUO X R, HUANG W, ZHANG J Z, et al. Monitoring results of food-borne parasite in commercially available food in Shenzhen City [J]. Occupation and Health, 2015, 31(16): 2205-2207.
- [12] 斯亚玲,张明媚,孙婷.2017—2020年连云港市连云区市售食品中微生物及致病因子监测结果[J].江苏预防医学,2022,33(2):217-219.
JIN Y L, ZHANG M J, SUN T. Monitoring results of microorganisms and pathogenic factors in food sold in Lianyun District, Lianyungang City during 2017—2020 [J]. Jiangsu Journal of Preventive Medicine, 2022, 33(2): 217-219.
- [13] 张娟,周晓梅,陶洪,等.2017—2022年云南省市售淡水产品食源性寄生虫监测分析[J].热带病与寄生虫学,2024,22(5):284-288.
ZHANG J, ZHOU X M, TAO H, et al. Monitoring and analysis of food-borne parasites in freshwater products in Yunnan Province from 2017 to 2022 [J]. Journal of Tropical Diseases and Parasitology, 2024, 22(5): 284-288.
- [14] 孙景昱,刘思洁,赵薇,等.吉林省市售淡水鱼中寄生虫污染情况调查[J].食品安全质量检测学报,2020,11(22):8547-8550.
SUN J Y, LIU S J, ZHAO W, et al. Investigation on the parasite contamination status of freshwater fish in markets in Jilin province [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11(22): 8547-8550.
- [15] 卢丽丹,陈木新,蔡姗,等.基于One Health视角的贵州省少数民族地区食源性寄生虫病流行因素调查研究[J].中国人兽共患病学报,2025,41(5):480-486.
LU L D, CHEN M X, CAI S, et al. Epidemic factors in foodborne parasitic diseases in ethnic minority areas of Guizhou Province from a One Health perspective [J]. Chinese Journal of Zoonoses, 2025, 41(5): 480-486.
- [16] 蔡武卫,林陈鑫,江典伟,等.2014—2019年福建省市售淡水产品寄生虫感染情况调查[J].热带病与寄生虫学,2021,19(2):74-76, 92.
CAI W W, LIN C X, JIANG D W, et al. Investigation on the parasitic infection of some marketed freshwater products in Fujian Province from 2014 to 2019 [J]. Journal of Tropical Diseases and Parasitology, 2021, 19(2): 74-76, 92.
- [17] 陈颖丹,周长海,朱慧慧,等.2015年全国人体重点寄生虫病现状调查分析[J].中国寄生虫学与寄生虫病杂志,2020,38(1):5-16.
CHEN Y D, ZHOU C H, ZHU H H, et al. National survey on the current status of important human parasitic diseases in China in 2015 [J]. Chinese Journal of Parasitology and Parasitic Diseases, 2020, 38(1): 5-16.
- [18] OKADA N, OOI H K, TAIRA K. Detection of larvae of *Toxocara cati* and *T. tanuki* from the muscles of free-ranging layer farm chickens[J]. Parasitology research, 2021, 120(5):1737-1741.

- [19] OLIVEIRA J, PEDROSO R, CUNHA S, et al. Evaluation of two analytical methods of detection for intestinal parasites in curly lettuce sold in food stalls [J]. Brazilian Journal of Food Technology, 2022, 22: e2021002.
- [20] LI J, DING J, LIU X L, et al. Upconverting phosphor technology-based lateral flow assay for the rapid and sensitive detection of anti-*Trichinella spiralis* IgG antibodies in pig serum [J]. Parasites & vectors, 2021, 14(1): 487.
- [21] THANHOMNANG T, SADAOW L, SANPOOL O, et al. Development of an immunochromatographic point-of-care test for detection of IgG antibody in serodiagnosis of human trichinellosis [J]. International Journal of Infectious Diseases, 2021, 111: 148-153.
- [22] SANTORO M, VISCARDI M, BOCCIA F, et al. Parasite Load and STRs Genotyping of *Toxoplasma gondii* Isolates From Mediterranean Mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in Southern Italy [J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11: 355.
- [23] NOGRADO K, THIANGTRONGJIT T, ADISAKWATTANA P, et al. Protein and antigen profiles of third-stage larvae of *Gnathostoma spinigerum* assessed with next-generation sequencing transcriptomic information [J]. Scientific reports, 2022, 12(1): 6915.
- [24] 中华人民共和国广西出入境检验检疫局. 进出口食品中寄生虫的检验方法: SN/T 1748—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- Guangxi Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau of the People's Republic of China. Inspection of parasitic in food for import and export: SN/T 1748—2006[S]. Beijing: China Standard Press, 2006.
- [25] 周游, 王周平. 食品危害物及其检测方法研究进展 [J]. 生物加工过程, 2018, 16(2): 24-30.
- ZHOU Y, WANG Z P. Food hazards and their detection [J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2018, 16 (2) : 24-30.
- [26] 张明. 生猪屠宰同步检疫中旋毛虫的检验检疫处理 [J]. 中国动物保健, 2022, 24(9): 114-122.
- ZHANG M. Inspection and quarantine treatment of *Trichinella spiralis* in synchronous quarantine of pig slaughtering [J]. China Animal Health, 2022, 24(9): 114-122.
- [27] 蒋守富, 张小萍, 何艳燕. 食品寄生虫快速检测技术的应用进展 [J]. 中国食品卫生杂志, 2014, 26(1): 95-100.
- JIANG S F, ZHANG X P, HE Y Y. Application progress on rapid detection technology of parasites in food [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2014, 26(1): 95-100.
- [28] 余文武, 祖晓峰, 郑丽萍, 等. 2016—2021年浦城县华支睾吸虫病流行现状分析 [J]. 寄生虫病与感染性疾病, 2024, 22 (1): 31-34.
- YU W W, ZU X F, ZHENG L P, et al. Investigation of epidemic status of *Clonorchiasis sinensis* in Pucheng County from 2016 to 2021 [J]. Parasitoses and Infectious Diseases, 2024, 22(1): 31-34.
- [29] 古丽香, 金凡, 苏春丽, 等. 四川省甘孜县部分牦牛肉致病菌及寄生虫的检测分析 [J]. 安徽农业科学, 2022, 50(23): 154-159.
- GU L X, JIN F, SU C L, et al. Detection and analysis of pathogens and parasites in some yak meat in Ganzi County, Sichuan Province [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(23): 154-159.
- [30] VASILEV S, SUVAJDZIC B, MITIC I, et al. Efficacy of an aerosol-resistant pepsin powder used in artificial digestion for the detection of *Trichinella* larvae in meat [J]. Journal of Helminthology, 2022, 96: e71.
- [31] LEVSEN A, LUNESTAD B T, BERLAND B. Low detection efficiency of candling as a commonly recommended inspection method for nematode larvae in the flesh of pelagic fish [J]. Journal of Food Protection, 2005, 68(4): 828-832.
- [32] MERCKEN E, VAN DAMME I, SOBA B, et al. Sensitivity of candling as routine method for the detection and recovery of ascaridoids in commercial fish fillets [J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 1358.
- [33] 加纳标准局. 鱼类和水产品检测方法——第3部分: 用烛光法测定有鳍鱼中的寄生虫: CD-ARS 1132-3: 2023[S]. 阿克拉: 加纳标准局, 2023.
- Ghana Standards Authority. Test methods for fish and fishery products—Part 3: Determination of parasites in finfish by candling: CD-ARS 1132-3: 2023[S]. Accra: Ghana Standards Authority, 2023.
- [34] NASSER A M. Transmission of cryptosporidium by fresh vegetables [J]. Journal of Food Protection, 2022, 85(12): 1737-1744.
- [35] JEFFREY W, GEORGE J, ANN M, et al. BAM Chapter 19: Parasitic Animals in Foods [EB/OL]. (2024-04-25).<https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-19-parasitic-animals-foods>.
- [36] MARTIN I, ELSHESHTAWY A, CLOKIE B, et al. Microbiome dynamics associated with *Hematodinium* sp. infection in Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) [J]. Animal Microbiome, 2025, 7(1): 62.
- [37] 林吉恒, 黄朱梁, 彭志兰, 等. 免疫磁珠分离技术在食源性致病菌检测中的应用 [J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10 (18): 5998-6005.
- LIN J H, HUANG Z L, PENG Z L, et al. Application of immunomagnetic beads separation techniques in detection of foodborne pathogenic bacteria [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(18): 5998-6005.
- [38] 姜阜杉, 高传亮, 叶建军, 等. 刚地弓形虫 CST1/BSR4 免疫磁珠的制备及初步应用 [J]. 南开大学学报(自然科学版), 2022, 55(3): 89-96.
- JIANG F S, GAO C L, YE J J, et al. Preparation and preliminary application of immunomagnetic beads of *Toxoplasma gondii* CST1/BSR4 [J]. Journal of Nankai University(Natural Science), 2022, 55(3): 89-96.
- [39] MARQUES C S, SOUSA S, CASTRO A, et al. Detection of *Toxoplasma gondii* oocysts in fresh vegetables and berry fruits [J]. Parasites & Vectors, 2020, 13(1): 180.
- [40] 李向梅, 刘志威, 陈晓敏, 等. 食品安全免疫层析检测技术研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(15): 4939-4955.
- LI X M, LIU Z W, CHEN X M, et al. Advances of immunoassay for food safety [J]. Journal of Food

- Safety and Quality, 2020, 11(15): 4939-4955.
- [41] 孙恒昌, 周心怡, 林志鹏, 等. 淡水鱼华支睾吸虫囊蚴感染的胶体金免疫检测技术建立[J]. 热带医学杂志, 2022, 22(6): 774-778.
- SUN H C, ZHOU X Y, LIN Z P, et al. Establishment of the gold immunochromatography assay for Clonorchis sinensis infection in freshwater fish [J]. Journal of Tropical Medicine, 2022, 22(6): 774-778.
- [42] 寇金华. 猪弓形虫感染ELISA和胶体金免疫层析试纸条检测方法的建立与初步应用[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- KOU J H. Development and preliminary application of ELISA and colloidal gold immunochromatographic strip for the detection of Toxoplasma gondii infection in Swine [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [43] WANG X, LI A, WANG R, et al. Lateral flow immunoassay strips based on europium (III) chelate microparticle for the rapid and sensitive detection of Trichinella spiralis infection in whole blood samples of pigs[J]. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 2022, 12: 955974.
- [44] 廉晓丽, 杨毅梅. 纳米金标记技术在常见食源性传染病检测中的研究现状[J]. 中国病原生物学杂志, 2018, 13(7): 800-803.
- LIAN X L, YANG Y M. Status of research on nanogold labeling to detect foodborne infectious diseases [J]. Journal of Pathogen Biology, 2018, 13(7): 800-803.
- [45] KOCHANOWSKI M, ROZYCKI M, DABROWSKA J, et al. Development and Application of Novel Chemiluminescence Immunoassays for Highly Sensitive Detection of Anisakis simplex Proteins in Thermally Processed Seafood[J]. Pathogens (Basel, Switzerland), 2020, 9(10).
- [46] DUONG H D, TANIGUCHI Y, TAKASHIMA Y, et al. Diagnostic value of recombinant nanoluciferase fused Toxoplasma gondii antigens in Luciferase-linked Antibody Capture Assay (LACA) for Toxoplasma infection in pigs [J]. The Journal of Veterinary Medical Science, 2022, 84(7): 905-913.
- [47] 刘莉娜. 曼氏迭宫绦虫半胱氨酸蛋白酶的表达与鉴定及其用于裂头蚴病血清学诊断的研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2015.
- LIU L N. Expression and characterization of Spirometra mansoni cysteine protease and its application in serodiagnosis of sparganosis [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2015.
- [48] 白瑞. PCR技术在食品检测领域的国内标准使用现状及应用进展[J]. 工业微生物, 2024, 54(2): 66-68, 91.
- BAI R. The current status and application progress of PCR technology in Chinese food testing standards [J]. Industrial Microbiology, 2024, 54(2): 66-68, 91.
- [49] 孙吉浩. PCR技术在食源性微生物检测中的应用与发展研究[J]. 生物化工, 2016, 2(2): 56-58, 63.
- SUN J H. Application and development of PCR in the detection of foodborne microorganism [J]. Biological Chemical Engineering, 2016, 2(2): 56-58, 63.
- [50] 雷燕, 陈楷, 梁美丹, 等. 蛙源裂头蚴多靶标基因的PCR检测与分析[J]. 热带医学杂志, 2023, 23(8): 1044-1047, 1057.
- LEI Y, CHEN K, LIANG M D, et al. PCR detection and analysis of sparganum from frog based on multi-target genes [J]. Journal of Tropical Medicine, 2023, 23(8): 1044-1047, 1057.
- [51] USECHE E, JIMENEZ A, ARMADA K, et al. Standardization of the PCR Technique for the Detection of the Toxoplasma gondii B1 Gene in Meat and Water Samples and Cloning of the Product for Use as Control [J]. Acta parasitologica, 2022, 67(3): 1440-1446.
- [52] RIGKOU A, HEMNANI M, MARTINS A L, et al. Detection and Characterization of Visceral Anisakid Nematodes in Blue Whiting from Portuguese Waters [J]. Foods (Basel, Switzerland), 2024, 13(23).
- [53] 杨富升, 古小彬. 近十年PCR技术在寄生虫病诊断中的应用[J]. 畜牧兽医学报, 2023, 54(8): 3183-3194.
- YANG F S, GU X B. A Review on Applications of PCR Technology in the Diagnosis of Parasitic Diseases in the Past 10 Years [J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2023, 54(8): 3183-3194.
- [54] 江苏省市场监督管理局. 南美白对虾肝肠胞虫巢式聚合酶链式反应(PCR)检测方法: DB32/T 3802—2020[S]. 南京: 江苏省市场监督管理局, 2020.
- Jiangsu Provincial Administration for Market Regulation. Detection of Enterocytozoon hepatopenaei in Litopenaeus vannamei by nested PCR: DB32/T 3802—2020[S]. Nanjing: Jiangsu Provincial Administration for Market Regulation, 2020.
- [55] MERKS H, BOONE R, JANECKO N, et al. Foodborne protozoan parasites in fresh mussels and oysters purchased at retail in Canada [J]. International Journal of Food Microbiology, 2023, 399: 110248.
- [56] 张飞燕, 赵玲, 金洁, 等. 多重PCR技术在实验动物病原检测中的应用[J]. 中国比较医学杂志, 2018, 28(10): 111-116.
- ZHANG F Y, ZHAO L, JIN J, et al. Application of multiplex PCR to detecting experimental animal pathogens [J]. Chinese Journal of Comparative Medicine, 2018, 28(10): 111-116.
- [57] 高俊峰, 王鑫, 毛瑞峰, 等. 淡水鱼中3种吸虫囊蚴多重PCR检测方法的建立[J]. 中国预防兽医学报, 2022, 44(2): 157-161.
- GAO J F, WANG X, MAO R F, et al. Establishment of multiplex PCR for detection of three kinds of Trematode metacercariae in freshwater fish [J]. Chinese Journal of Preventive Veterinary Medicine, 2022, 44(2): 157-161.
- [58] CROTTI S, BRUSTENGA L, CRUCIANI D, et al. Molecular Screening of *Echinococcus* spp. and other cestodes in wild carnivores from Central Italy [J]. Veterinary Sciences, 2023, 10(5).
- [59] 胡坤敏. 三种并殖吸虫囊蚴的多重荧光定量PCR检测方法的建立及应用[D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2020.
- HU K M. Establishment and application of multiplex fluorescent quantitative PCR for detection of three species paragonimus metacercariae [D]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2020.
- [60] 谌秋华, 杜朝阳. 环介导等温扩增技术的研究进展[J]. 南昌大学学报(医学版), 2013, 53(1): 93-95.
- CHEN Q H, DU C Y. Advances of loop-mediated isothermal amplification [J]. Journal of Nanchang University (Medical Sciences), 2013, 53(1): 93-95.
- [61] 刘旺, 靳晶豪, 陈孝仁. 环介导等温扩增技术的应用进展

- [J]. 生物技术进展, 2021, 11(2): 128-135.
- LIU W, JIN J H, CHEN X R. Application Progress of Loop-mediated Isothermal Amplification Technique [J]. Current Biotechnology, 2021, 11(2): 128-135.
- [62] LALONDE L F, XIE V, OAKLEY J R, et al. Optimization and validation of a loop-mediated isothermal amplification (LAMP) assay for detection of Giardia duodenalis in leafy greens [J]. Food and Waterborne Parasitology, 2021, 23: e123.
- [63] 朱海, 汪奇志, 孙成松, 等. 淡水鱼华支睾吸虫囊蚴LAMP检测方法的建立[J]. 热带病与寄生虫学, 2021, 19(4): 181-184.
- ZHU H, WANG Q Z, SUN C S, et al. Establishment of LAMP technique for detecting metacercariae in freshwater fish infected with Clonorchis sinensis [J]. Journal of Tropical Diseases and Parasitology, 2021, 19(4): 181-184.
- [64] 乔艳, 周前进, 李孝军, 等. 环介导等温扩增联合横向流动试纸条检测简单异尖线虫/派氏异尖线虫方法的建立[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(2): 324-335.
- QIAO Y, ZHOU Q J, LI X J, et al. A loop-mediated isothermal amplification technique combined with a lateral flow dipstick for the detection of Anisakis simplex sensu stricto/Anisakis pegreffii in commercial fish[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2019, 50(2): 324-335.
- [65] 王金红. 弓形虫Exo-RPA检测方法的建立与初步应用[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- WANG J H. Establishment and preliminary application of the detection method of Toxoplasma gondii Exo-RPA [D]. Changchun: Jilin University, 2022.
- [66] DAHER R K, STEWART G, BOISSINOT M, et al. Recombinase Polymerase amplification for diagnostic applications [J]. Clinical Chemistry, 2016, 62(7): 947-958.
- [67] 王晓庆, 张海韵, 高晗, 等. 重组酶聚合酶扩增技术在食源性致病菌检测中的应用[J]. 现代食品, 2023, 29(1): 11-14.
- WANG X Q, ZHANG H Y, GAO H, et al. Application of recombinase polymerase amplification technique for detection of pathogenic bacteria in foodborne [J]. Modern Food, 2023, 29(1): 11-14.
- [68] 王帅, 杨艳歌, 吴占文, 等. 重组酶聚合酶扩增、重组酶介导等温扩增及酶促重组等温扩增技术在食源性致病菌快速检测中的研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(9): 297-305.
- WANG S, YANG Y G, WU Z W, et al. A Review of the Application of Recombinase Polymerase Amplification, Recombinase-Aided Amplification and Enzymatic Recombinase Amplification in Rapid Detection of Foodborne Pathogens [J]. Food Science, 2023, 44(9): 297-305.
- [69] CHEN X, ZHAO L, WANG J, et al. Rapid visual detection of anisakid nematodes using recombinase polymerase amplification and SYBR Green I [J]. Frontiers in Microbiology, 2022, 13: 1026129.
- [70] 张春玲, 邱阳元, 郝朔, 等. 华支睾吸虫囊蚴RPA检测方法的建立[J]. 中国兽医学报, 2021, 51(4): 441-445.
- ZHANG C L, QIU Y Y, HAO S, et al. Development of RPA assay for the detection of Clonorchis sinensis metacercaria [J]. Chinese Veterinary Science, 2021, 51(4): 441-445.
- [71] 张逸龙, 潘卫庆. 新型等温扩增技术推动寄生虫病现场快速检测能力提升[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2020, 32(4): 331-334.
- ZHANG Y L, PAN W Q. A novel isothermal amplification assay improves the capability for the field rapid detection of parasitic diseases [J]. Chinese Journal of Schistosomiasis Control, 2020, 32(4): 331-334.
- [72] WANG Z H, ZHANG W, ZHANG X Z, et al. Development of a real-time recombinase-aided amplification (RT-RAA) molecular diagnosis assay for sensitive and rapid detection of Toxoplasma gondii [J]. Veterinary Parasitology, 2021, 298: 109489.
- [73] 丁昕, 刘燕红, 倪碧娟, 等. 基于重组酶介导等温扩增技术的细粒棘球绦虫核酸检测方法的建立[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2020, 32(4): 340-344.
- DING X, LIU Y H, NI B X, et al. Establishment of a nucleic acid assay for detection of Echinococcus granulosus based on recombinase-aided isothermal amplification assay [J]. Chinese Journal of Schistosomiasis Control, 2020, 32(4): 340-344.
- [74] 邓艳, 刘燕红, 陈伟奇, 等. 重组酶介导的斯氏并殖吸虫等温扩增荧光检测方法的建立及检测效果初步评价[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2021, 33(5): 464-469.
- DENG Y, LIU Y H, CHEN W Q, et al. Establishment of a fluorescent recombinase-aided isothermal amplification assay for nucleic acid detection of Paragonimus skrjabini and preliminary evaluation of its detection efficiency [J]. Chinese Journal of Schistosomiasis Control, 2021, 33(5): 464-469.
- [75] 李裕. 生物芯片技术在保障食品安全中的应用[J]. 中国食品工业, 2021(24): 52-53.
- LI Y. Application of biochip technology in ensuring food safety [J]. China Food Industry, 2021(24): 52-53.
- [76] 杨帆, 王苏仪, 刘晓飞, 等. 生物传导芯片在食品安全检测中的应用进展[J]. 食品工业, 2019, 40(7): 270-274.
- YANG F, WANG S Y, LIU X F, et al. Progress in the Application of bio-conducting chips in food safety testing [J]. The Food Industry, 2019, 40(7): 270-274.
- [77] 罗玲, 易德玮, 杨坤明, 等. 生物芯片在食品的应用研究[J]. 广东饲料, 2018, 27(6): 36-38.
- LUO L, YI D W, YANG K M, et al. Research of application of Biochip in food [J]. Guangdong Feed, 2018, 27(6): 36-38.
- [78] 龙晓蕾, 陈培厚, 李正祥, 等. 序列分析法在鉴定鱼类感染华支睾吸虫囊蚴中的应用[J]. 基因组学与应用生物学, 2021, 40(Z3): 3006-3011.
- LONG X L, CHEN P H, LI Z X, et al. Application of Sequence Analysis in Identification of Fish Infected with Clonorchis sinensis Metacercaria [J]. Genomics and Applied Biology, 2021, 40(Z3): 3006-3011.
- [79] SIAVASH M R, MAHIMKAR R, KHORRAMI J A, et al. Aptamer-based electrochemical microfluidic biosensor for the detection of cryptosporidium parvum [J]. ACS sensors, 2023.
- [80] ARENA-ORTIZ M L, SANCHEZ-RODRIGUEZ E C, APODACA-HERNANDEZ J E, et al. DNA microarrays to identify etiological agents, as sensors of environmental wellbeing [J]. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 2023, 11: 1085976.
- [81] 吴忠道, 黄艳, 宋兰桂. 我国人体寄生虫病防治的新挑战: 食源性寄生虫病的防治[J]. 中国热带医学, 2019, 19(1): 1-3.

- WU Z D, HUANG Y, SONG L G. New challenge for human parasitic disease control in China: Food-borne parasitic disease control[J]. China Tropical Medicine, 2019, 19(1): 1-3.
- [82] GABRIEL S, DORNY P, SAELENS G, et al. Foodborne parasites and their complex life cycles challenging food safety in different food chains[J]. Foods (Basel, Switzerland), 2022, 12(1).
- [83] 尹伟,胡琪,李新章,等.病原微生物检测技术方法研究进展[J].汕头大学学报(自然科学版),2023,38(2):40-48.
- YIN W, HU Q, LI X Z, et al. Research progress of pathogenic microorganism detection technology [J]. Journal of Shantou University (Natural Science), 2023, 38(2): 40-48.
- [84] 冷远达,黄诗锦,陈樨蕊,等.基于双功能纳米探针的免疫层析技术在食品安全检测中的应用[J].食品与发酵工业,2023,49(6):300-307.
- LENG Y K, HUANG S J, CHEN X R, et al. Bifunctional nanoprobe-based immunochromatographic assays for food safety monitoring[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(6): 300-307.
- [85] 黄红云.生物技术在食品检测中的应用研究[J].食品安全导刊,2022(18):152-154.
- HUANG H Y. Research on the Application of Biotechnology in Food Detection[J]. China Food Safety Magazine, 2022(18): 152-154.

[上接第680页]

著作或编著:[序号] 主要责任者. 文献题名[文献类型标志]. 其他责任者. 版本项(版次为第一版的不用标明). 出版地:出版者,出版年:起页-止页.

举例 图书:[3] 吴阶平,裘法祖,黄家驷. 外科学[M]. 4版. 北京:人民卫生出版社, 1979: 82-93.

译著:[4] ZIEGIER E E, FILER L J. 现代营养学[M]. 闻之梅,陈君石,译. 7版. 北京:人民卫生出版社, 1998: 126-129.

著作中的析出文献:[序号] 析出文献主要责任者. 析出文献题名[文献类型标志]//原文献主要责任者. 原文献题名. 版本项. 出版地:出版者,出版年:析出文献起页-止页.

举例 [5] 白书农. 植物开花研究[M]//李承森. 植物科学进展. 北京:高等教育出版社, 1998: 146-163.

会议文献中的析出文献:[序号] 析出文献主要责任者. 析出文献题名[文献类型标志/文献载体标志]//会议文献主要责任者. 会议文献题名:其他题名信息. 出版地:出版者,出版年:析出文献起页-止页[引用日期]获取和访问路径.

举例 [6] 董家祥,关仲英,王兆奎,等. 重症肝炎的综合基础治疗[C]//张定凤. 第三届全国病毒性肝炎专题学术会议论文汇编,南宁,1984. 北京:人民卫生出版社, 1985: 203-212.

科技报告:著录格式同著作或编著。

举例 [7] World Health Organization. Factors regulating the immune response: report of WHO Scientific Group [R]. Geneva:WHO,1970:1-74.

法令、条例:[序号] 主要责任者. 题名[文献类型标志]. 公布日期.

举例 [8] 中华人民共和国全国人民代表大会. 中华人民共和国著作权法[A]. 2012-03-31.

标准:[序号] 主要责任者. 标准名称:标准编号[文献类型标志]. 出版地:出版者,出版年.

举例 [9] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. 科学技术期刊编排格式:GB / T 3179—1992 [S]. 北京:中国标准出版社,1992.

电子文献:[序号] 主要责任者. 题名[文献类型标志 / 文献载体标志]. 出版地:出版者,出版年(更新或修改日期)[引用日期]. 获取和访问路径.

举例 [10] 肖 钰. 出版业信息迈入快道 [EB/OL]. (2001-12-19) [2002-04-15]. <http://www.creader.com/news/20011219/200112190019.html>.

专利文献:[序号] 专利申请者. 题名:专利国别,专利号[P]. 公告或公开日期.

3 声明

本刊已进入中国所有主要期刊数据库,本刊所付稿酬已包含这些数据库的稿酬。编辑部对来稿将作文字性修改,若涉及内容修改会与作者商榷。编辑部收到稿件后,于3个月内通知处理意见。投稿6个月后如未收到修稿或录用通知,作者可自行处理稿件,所收稿件纸质版概不退还。来稿一经采用,即收取版面费,按规定向作者支付稿酬,并赠送杂志。

4 投稿

投稿请登录《中国食品卫生杂志》网站 <http://www.zgspws.com>, 并同时邮寄单位介绍信和稿件纸版1份(需第一作者、通信作者和副高以上作者签名)。来稿中应有清楚完整的作者通信地址、联系电话和E-mail地址。编辑部地址:北京市朝阳区广渠路37号院2号楼802室《中国食品卫生杂志》编辑部 邮政编码:100021 电话:010-52165596 E-mail:spws462@163.com