

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240303005

基围虾中铅镉元素快速检测法的可行性分析

黎蓝聪¹, 谢佳玲¹, 黄海霞², 张倩勉^{1*}

(1. 南宁学院食品与质量工程学院, 南宁 530020; 2. 广西-东盟食品检验检测中心, 南宁 546199)

摘要: **目的** 分析基围虾中铅元素、镉元素快速检测法的可行性。**方法** 以基围虾作为研究对象, 依据国标要求, 筛选出 5 个符合规格的快速检测产品。通过 5 个快速检测产品对阴性样、1.0 倍以及 1.8 倍限量值的阳性样中的重金属铅和镉进行快速测定, 并通过石墨炉原子吸收光谱法对铅镉的快速检测结果进行验证。**结果** 快检 1 和快检 2 在铅镉元素含量分别大于 0.413 mg/kg 及 0.488 mg/kg 时, 检测结果显示为阳性; 快检 3 和快检 5 在铅镉元素含量分别大于 0.607 mg/kg 及 0.604 mg/kg 时, 检测结果显示为阳性, 这说明海产品铅镉元素的快速检测产品对基围虾中铅镉元素快速测定具有一定的可行性, 检测结果存在一定的差异, 主要的原因可能为不同牌子的产品, 在技术上存在一定的差异, 导致产品的灵敏度存在差异。**结论** 快速检测法测定基围虾中铅、镉元素具有可行性, 这为海产品重金属元素测定提供了参考依据。

关键词: 基围虾; 铅镉元素; 快速检测; 石墨炉原子吸收光谱法

Feasibility analysis of rapid detection of lead-cadmium in base shrimp

LI Lan-Cong¹, XIE Jia-Ling¹, HUANG Hai-Xia², ZHANG Qian-Mian^{1*}

(1. College of Food and Quality Engineering, Nanning University, Nanning 530020, China;
2. Guangxi-ASEAN Food Inspection and Testing Center, Nanning 546199, China)

ABSTRACT: **Objective** To analyze the feasibility of rapid detection of lead and cadmium in base shrimp. **Methods** Taking base shrimp as the research object, five rapid detection products that meet the national standards for lead and cadmium limits in base shrimp were screened. Four samples were subjected to rapid determination of heavy metals lead and cadmium, and the rapid detection results were verified using graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Results** Rapid detection product 1 and rapid detection product 2 showed positive results when the content of lead and cadmium exceeded 0.413 mg/kg and 0.488 mg/kg, respectively. Similarly, rapid detection product 3 and rapid detection product 5 displayed positive results when the content of lead and cadmium surpassed 0.607 mg/kg and 0.604 mg/kg, respectively. This indicated that rapid detection products for lead and cadmium in seafood have a certain feasibility in rapidly determining these elements in base shrimp. However, there were some variations in the detection results, which were primarily attributed to technical differences among products from different brands, leading to variations in product sensitivity. **Conclusion** The rapid detection method for determining lead and cadmium in base shrimp is feasible, providing a reference basis for the determination of heavy

基金项目: 2023 年广西壮族自治区大学生创新创业训练计划项目(202311549037)

Fund: Supported by the 2023 Innovation and Entrepreneurship Training Program for College Students in Guangxi Zhuang Autonomous Region (202311549037)

*通信作者: 张倩勉, 高级工程师, 主要研究方向为食品与质量安全/标准化。E-mail: 190796540@qq.com

*Corresponding author: ZHANG Qian-Mian, Senior Engineer, College of Food and Quality Engineering, Nanning University, No.8, Longting Road, Nanning 530020, China. E-mail: 190796540@qq.com

metal elements in seafood.

KEY WORDS: base shrimp; lead-cadmium; rapid detection; graphite furnace atomic absorption spectrometry

0 引 言

水产品可为人类提供优质的蛋白质、不饱和脂肪酸、维生素及矿物质等营养素,在保障全球的食物营养与粮食安全方面发挥着关键作用^[1-2]。基围虾属于对虾科,是浅海甲壳类海水虾^[3-4],分布在广西、海南和广东沿海等地区,是重要的经济虾类之一^[5-6],因此深受人们欢迎。自 2000 年以来,我国一直为全球最大的水产品生产、加工及贸易大国,并随着经济的快速增长成为主要消费国,占全球水产养殖产量的 58%、产值的 59%^[7]。根据国家统计局 2022 年最新数据显示,2022 年全国水产品产量为 6869 万 t,同比增长 2.7%,其中,养殖水产品产量为 5568 万 t,增长率为 3.2%,捕捞水产品产量为 1301 万 t,增比 0.4%^[8]。若水产品出现问题,将给水产养殖业带来巨大经济损失^[9-11]。根据《消费者报道》的报道以及国家抽查检验的结果,我们注意到镉金属含量超标的问题确实存在,这引发了我们对镉金属中毒的警惕^[12-13]。医学研究发现,镉中毒一般分为急性和慢性两种。急性中毒表现为咽痛、咳嗽、胸闷、呕血、腹痛、全身酸痛等症状,严重者会出现肺水肿和心力衰竭;慢性镉中毒则可对人的肾功能造成损伤,造成“痛痛病”^[14],引起贫血症状,破坏人的骨骼,使人的肺功能减退,让癌症发病率增高^[15]。而铅中毒是由于过量摄入含铅物质,如药物、环境污染和食物,导致身体内铅含量累积至危险水平。铅中毒可影响多个系统,包括消化、泌尿、血液和神经系统^[16]。中毒症状包括腹泻、便秘、恶心、腹绞痛、呕吐、无尿、蛋白尿、少尿、排尿困难、贫血、乏力、皮肤苍白、头晕眼花、运动障碍、感觉障碍、记忆力降低、神经衰弱、失明和幻觉等。对于儿童,铅中毒可能会影响其正常生长发育,导致生长发育迟缓、智力低下和骨骼发育不良等严重后果^[17-18],对水产品质量安全以及人类健康构成威胁^[19-22]。因此,应采取措施避免铅摄入,并定期进行铅检测以预防铅中毒。

GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》规定鱼类、甲壳类中镉、铅含量均不得超过 0.5 mg/kg。近年来国家加大对海产品的监督抽查力度^[23-24],根据近 3 年广西监管局抽查结果表明,水产品抽检不合格率高达 30.77%,其中绝大部分来自海产品。重金属镉不合格项目居第二^[25]。在食品重金属检测领域,现有的方法依赖于大型精密仪器,且样品处理过程较烦琐,检测周期较长,需要专业人员进行操作。快速检测法是一种操作简便、材料简单、所需时间在 10~30 min 内的检测方法^[26-28],且对操作人员技术要求低。快速检测法应用了竞争法免疫层析原

理,在层析过程中,待测液中的待测物与金标抗体结合,抑制了金标抗体与硝酸纤维素膜上的竞争抗原(T 线)的结合,从而影响 T 线显色,通过显色情况可以判断样品重金属含量是否超标。但目前海产品中重金属的快速检测方面的研究相对较少^[29-30]。本研究旨在基于市面上快速检测产品,根据国家标准中对甲壳类海产品对铅镉元素的限量要求,筛选符合要求的铅镉重金属快速检测产品,并通过对基围虾样品进行测试,同时采用石墨炉原子吸收光谱法进行定量验证,分析快速检测基围虾中铅镉元素的可行性。重金属的快速检测法可以应用于产品销售前的快速判定,为监管部门和消费者提供决策依据,同时推动相关产业的健康发展。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

基围虾:采购于南宁市海鲜市场,标注为样品 1~样品 4。

铅镉快速检测产品:分别来自于快检试剂公司 1~5,分别标注为“快检 1”~“快检 5”,所选择的快检产品均符合 GB 2762—2022 标准中甲壳类铅镉 0.5 mg/kg 限量规定,即:样品中的铅镉含量 ≥ 0.5 mg/kg 时,快检品显示“阳性”的结果, <0.5 mg/kg 时,则显示“阴性”的结果。

铅标准溶液、镉标准溶液(1000 $\mu\text{g/mL}$,坛墨质检-标准物质中心);过氧化氢、硝酸(分析纯,天津市大茂化学试剂厂);

硝酸溶液(5%):量取 50 mL 硝酸,定容至 1000 mL 水中,混匀;

铅标准中间液(1.00 $\mu\text{g/mL}$):准确吸取铅标准溶液(1000 $\mu\text{g/mL}$) 0.1 mL,用硝酸溶液(5%)定容到 100 mL 容量瓶中,混匀;

镉标准中间液(1.00 $\mu\text{g/mL}$):准确吸取镉标准溶液(1000 $\mu\text{g/mL}$) 0.1 mL,用硝酸溶液(5%)定容到 100 mL 容量瓶中,混匀。

1.2 仪器与设备

FA2004B 电子精密天平(精度 0.0001 g,上海铂温仪器有限公司);ZW-32 绞肉机(苏州洁美诺厨房设备有限公司);Mc-12pro 离心机(群安科学仪器有限公司);谱析 7900 石墨炉原子吸收光谱仪(上海禹重实业有限公司);MDS-6G 型多通量微波消解仪(海能未来技术集团股份有限公司)。

1.3 海虾中铅镉元素初次快速测定

按照快检产品的使用说明书,按照图 1 的步骤进行样品处理,对样品中的铅镉元素进行快速测定。根据快检样品

的检测原理,其检测的灵敏度界限值主要参照按照国家标准 GB 2762 对甲壳类海产品中铅镉元素的限量值 $\leq 0.5\text{ mg/kg}$ 的规定,即:若样品中不含有该重金属或其浓度低于 0.5 mg/kg 时,快速产品的检测结果显示为未检出,若样品中不含有该重金属或其浓度超过 0.5 mg/kg 时,快检结果显示为检出。本研究中按照表 1 中对结果的判定方法对结果进行判定。

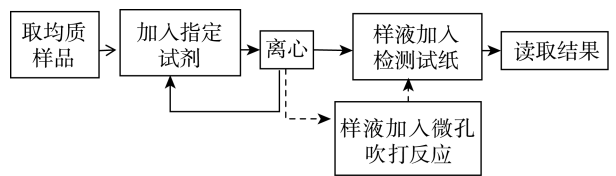


图 1 快速检测法操作步骤
Fig.1 Operation steps of the rapid detection method

表 1 快速测定结果判定
Table 1 Rapid determination of results

快检产品反应现象描述	结果判定及表示
检测线(T线)显色比质控线(C线)深或一样深	样本中不含有该重金属或其浓度低于限量值(0.5 mg/kg),为“阴性”样品,结果用“-”表示
检测线(T线)显色比质控线(C线)浅,或 T 线无显色	样本中重金属含量高于限量值(0.5 mg/kg),为“阳性”样品,结果用“+”表示
质控线(C线)不显色,或不成线条	表示结果无效,用“*”表示

1.4 海虾中铅镉元素再次快速测定

对初次快速检测结果为阴性的样品 1 及样品 2,按照 GB 2762 标准对基围虾中铅镉元素的限量规定,取样品 1 及样品 2 各一式 3 份,标注为“样品 1-1”~“样品 1-3”及“样品 2-1”~“样品 2-3”。并进行以下处理:平均分成 3 组,样品 1-1、样品 2-1 为第 1 组,以此类推。并向第 2 组以及第 3 组样品中加入相应的铅镉标准溶液,制作成 1.0 倍限量值、1.8 倍限量值的阳性样,即:理论上第 1 组样品为阴性样,第 2 组样品中铅镉的理论值为 0.5 mg/kg ,第 3 组的样品中铅镉的理论值为 0.9 mg/kg 。并通过 1.3 的步骤进行快速测定。

1.5 石墨炉原子吸收光谱法验证快速测定

1.5.1 标准曲线的制作

(1)铅镉混合工作液的配制

分别准确量取镉标准中间液($1.00\text{ }\mu\text{g/mL}$) 0、0.05、0.10、0.20、0.30、0.40 mL 及铅标准中间液 0、0.50、1.00、

2.00、3.00、4.00 mL 于 100 mL 容量瓶中,用硝酸溶液(5%)定容至刻度,配成系列铅镉混合标准工作液。该混合标准工作液中镉的质量浓度分别为 0、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 $\mu\text{g/L}$,铅的质量浓度分别为 0、5.0、10.0、20.0、30.0、40.0 $\mu\text{g/L}$,备用。

(2)标准曲线绘制

将铅镉混合标准工作液按浓度由低到高的顺序注入仪器,测其吸光度值,以质量浓度为横坐标,相应的吸光度值为纵坐标,绘制标准曲线并获得吸光度值与浓度关系的一元线性回归方程。

1.5.2 样品中铅镉元素含量的测定

(1)样品前处理

分别准确称取经 1.4 处理的样品、样品 3 和样品 4,0.5 g 于微波消解罐中,先加入 8 mL 硝酸,置于电热板上于 150°C 预处理至黄烟完全冒出后,补加 1 mL 硝酸及 1 mL 过氧化氢,按照 150°C 10 min、 190°C 15 min 的程序进行微波消解。冷却后取取消解罐,在电热板上于 140°C 赶酸至 0.5 mL。冷却后,将镉样品消解液转移至 25 mL 容量瓶中,铅样品消解液转移至 10 mL 容量瓶中,并分别用少量水洗涤消解罐 2~3 次,合并洗涤液于容量瓶中并用水定容至刻度,混匀备用。同时做试剂空白实验。

(2)样品的测定

把经过前处理的样品注入石墨炉原子吸收光谱仪进行测定。

(3)结果计算

样品中镉、铅的含量按照公式(1)计算,回收率结果按照公式(2)计算:

$$X=\frac{(\rho-\rho_0)\times f\times V}{m\times 1000}\tag{1}$$

回收率/%=(加标后检出量-样品含量) $\times 100$ /加标量 (2)
式(1)中: X 表示试样中铅的含量, mg/kg ; ρ 试样溶液中铅、镉的质量浓度, $\mu\text{g/L}$; ρ_0 空白溶液中铅的质量浓度, $\mu\text{g/L}$; V 表示试样消化液的定容体积, mL; m 表示试样称量, g; 1000 表示换算系数。

1.6 数据处理

使用 Excel 2019 对实验的数据进行统计与分析,使用 Origin Pro 2021 进行图形的绘制。

2 结果与分析

2.1 快检法测定基围虾中铅镉元素的初步测定结果

通过快速检测法,按照不同快速检测产品对应的操作步骤对样品中的铅镉元素进行初步快速测定。每个快检产品在测定样品过程中均进行 3 次平行实验,表 2 结果为快速检测法在测定不同样品时平行实验的最终结果。

表 2 铅镉元素初步快速测定结果
Table 2 Preliminary rapid determination result of lead and cadmium

类别	铅					镉				
	快检 1	快检 2	快检 3	快检 4	快检 5	快检 1	快检 2	快检 3	快检 4	快检 5
样品 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
样品 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
样品 3	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-
样品 4	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-

根据表 2 结果可知, 不同快检产品对同一个样品或者同一个快检产品对不同的样品, 表现出不一样的结果, 其中快检 1 及快检 2 对样品 1 及样品 2 的检测结果显示阴性, 对样品 3 及样品 4 的检测结果显示阳性, 其余快检产品对样品 1~样品 4 的检测结果显示均为阴性。该结果对于快检产品来说, 可能存在两种情况: (1)待测样品中不含铅镉元素或其铅镉元素的含量均低于 0.5 mg/kg, 快检产品有效; (2)待测样品中铅镉含量高于 0.5 mg/kg, 由于快检产品未达到相关灵敏度的要求, 从而显示阴性。

2.2 快检法测定基围虾中铅镉元素的再次测定结果

为了进一步验证初步检测的结果, 根据 1.4 步骤处理的样品经过 1.3 的步骤进行再次快速测定的结果见表 3。

表 3 结果显示, 5 个快检产品对第 1 组样品中的 1-1 及 2-1 测定结果均显示为阴性, 与初次测定的结果一致; 除了“快检 4”外, 其余 4 个快检产品, 对第 2 组和第 3 组样品的测定结果均显示为阳性, 符合表 1 中“样本中重金属含量高于限量值(0.5 mg/kg), 为““阳性”样品”的判定依据, 而“快检 4”对 3 组样品的结果仍然显示阴性, 与表 1 中“样本中不含有该重金属或其浓度低于限量值(0.5 mg/kg), 为““阴性”样品”的判定标准不一致, 说明“快检 4”对铅镉元素检测的灵敏度可能未达到相关要求, 从而显示阴性。

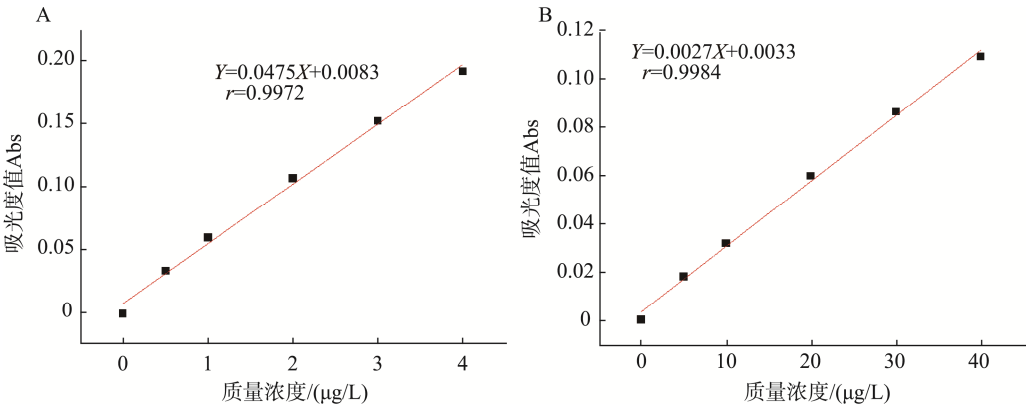
2.3 石墨炉原子吸收光谱法测定结果

2.3.1 线性结果

通过测定铅镉标准工作液并绘制标准曲线, 结果见图 2。

表 3 铅镉元素再次快速测定结果
Table 3 Secondly Rapid determination results of lead and cadmium

类别		铅					镉				
		快检 1	快检 2	快检 3	快检 4	快检 5	快检 1	快检 2	快检 3	快检 4	快检 5
第 1 组	1-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
第 2 组	1-2	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+
	2-2	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+
第 3 组	1-3	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+
	2-3	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+



注: A为镉的标准曲线; B为铅的标准曲线。

图2 铅镉的标准曲线

Fig.2 Standard curves of lead, cadmium

图 2 中结果显示, 镉元素在 0~4 μg/L 范围内回归方程为 $Y=0.0475X+0.0083$, 相关系数为 $r=0.9972$, 线性关系良好, 铅元素在 0~40 μg/L 范围内回归方程为 $Y=0.0027X+0.0033$, 相关系数为 $r=0.9984$, 线性关系良好。

2.3.2 样品检测结果及回收率
样品通过石墨炉原子吸收光谱进行铅镉元素的测定, 并按照公式(1)进行计算, 回收率按照公式(2)计算, 结果见表 4。

表 4 样品结果及回收率结果
Table 4 Sample results and recovery results

样品		铅			镉		
组别	编号	含量均值 (mg/kg)	回收率均值/%	RSDs/%	含量均值 (mg/kg)	回收率均值/%	RSDs/%
第 1 组	1-1	0.383	/	/	0.291	/	/
	2-1	0.381	/	/	0.285	/	/
第 2 组	1-2	0.826	87	5.79	0.796	102	1.39
	2-2	0.780	80		0.801	103	
第 3 组	1-3	1.160	86	1.66	1.210	102	0.69
	2-3	1.140	84		1.210	103	
样品 3		0.413	/	/	0.488	/	/
样品 4		0.607	/	/	0.614	/	/

注: 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs); /表示未进行回收率实验, 无相应数值。

表 4 数据显示, 第 1 组未添加铅镉标准物质的样品, 铅检出量在 0.381~0.383 mg/kg 之间, 镉检出量在 0.285~0.291 mg/kg 之间, 第 2 组以及第 3 组分别添加 1.0 倍以及 1.8 倍的限量值铅镉标准物质, 其铅检出量在 0.780~1.160 mg/kg 之间, 镉检出量在 0.796~1.210 mg/kg 之间, 回收率在 80%~103% 之间, 检出限符合 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》的附录 F.1 中, 回收率范围在 80%~110% 之间的要求。RSDs 除了第 2 组的铅测定值超过 5%, 其余均在 5% 以内。而样品 3 及样品 4 在初次快速检测中, 快检 1 及快检 2 两个快检产品均显示为阳性, 石墨炉法验证结果显示, 样品 3 中铅和镉的检出量分别为 0.413 mg/kg 及 0.488 mg/kg, 而样品 4 中铅和镉的检出量分别为 0.607 mg/kg 及 0.614 mg/kg。

2.4 快检可行性分析

根据快速初次检测的结果, 结合快检产品检测的原理及 GB 2762 标准对铅镉元素的定量限要求, 制作阳性样进行再一次快速检测, 并通过石墨炉原子吸收光谱法对快检结果进一步定量验证, 得到对比结果如表 5 所示。

国家标准规定甲壳类虾的铅镉限量值均为 0.5 mg/kg, 即样品中的铅镉含量在 0.5 mg/kg 以上时, 判定产品铅镉项目不合格, 含量<0.5 mg/kg 时, 判定产品铅镉项目合格。市面上大多数甲壳类铅镉快速测定产品主要在该基础上制作而成, 用于快速判定甲壳类产品中铅镉含量的快速判定。

表 5 结果显示, 快检 1 和快检 2 在铅镉元素含量分别大于 0.413 mg/kg 及 0.488 mg/kg 时, 检测结果显示为阳性, 快检 3 和快检 5 在铅镉元素含量分别大于 0.607 mg/kg 及 0.604 mg/kg 时, 检测结果显示为阳性, 这说明海产品铅镉

元素的快速检测产品对基围虾中铅镉元素快速测定具有一定的可行性, 检测结果的存在一定的差异, 主要的原因可能为不同牌子的产品, 在技术上存在一定的差异, 导致产品的灵敏度存在差异。

表 5 铅镉元素快检测定与石墨炉原子吸收光谱定量测定结果对比
Table 5 Comparison of fast determination of lead-cadmium and quantitative determination of atomic absorption spectroscopy in graphite furnace

快检产品	石墨炉原子吸收光谱测定结果/(mg/kg)		快检结果
	铅含量	镉含量	
快检 1	0~0.383	0~0.291	-
	0.413~1.160	0.488~1.210	+
快检 2	0~0.383	0~0.291	-
	0.413~1.160	0.488~1.210	+
快检 3	0~0.413	0~0.488	-
	0.607~1.160	0.604~1.210	+
快检 4	0~1.160	0~1.210	-
	0~0.413	0~0.488	-
快检 5	0~0.413	0~0.488	-
	0.607~1.160	0.604~1.210	+

3 结 论

该研究通过筛选, 选出 5 个市面上符合实验规格的铅镉元素快速检测产品, 对基围虾中的铅镉元素进行快速测定, 实验结果显示, 当基围虾中铅镉元素的含量达到一定的阈值时, 所选取的快速检测产品能够显示阳性反应, 这验证了快速检测技术在一定程度上用于海产品中铅镉元素

测定的可行性。然而不同品牌的快速检测产品在灵敏度方面存在一定差异。

尽管本研究验证了快速检测技术在海产品铅镉元素测定中的可行性,但现有产品的稳定性和灵敏度仍有待进一步提高。可通过改进快速检测产品的设计原理、材料选择或制造工艺,以提高其稳定性和灵敏度,确保在各种环境条件下都能获得准确可靠的检测结果。

参考文献

- [1] 粮农组织. 2016 年世界渔业和水产养殖状况:为全面实现粮食和营养安全做贡献[R]. 罗马:粮农组织, 2018.
FAO. FAO yearbook. Fishery and aquaculture statistics 2016 [R]. Rome: Food and Agriculture Organization, 2018.
- [2] 高鑫, 孙敏, 李博. 腐败希瓦氏菌的制冷机制研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(3): 208–213.
GAO X, SUN M, LI B. Progress in cooling mechanism of spoilage [J]. J Food Saf Qual, 2024, 15(3): 208–213.
- [3] 季文娜. 基围虾冻藏过程中品质变化规律及黑变影响因素的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021.
JI WN. Study on the quality change and the factors of black change in the process of frozen hiding [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [4] 贾璐. 双指示纳米纤维标签的制备及其对基围虾新鲜度的可视化监测[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2022.
JIA L. Preparation of double indicator nanofiber labels and their visual monitoring of base shrimp freshness [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2022.
- [5] 尹业兴, 贾晋, 申云. 中国城乡居民食物消费变迁及趋势分析[J]. 世界农业, 2020, (9): 38–46.
YIN YX, JIA J, SHEN Y. Analysis of the change and trend of food consumption among urban and rural residents in China [J]. World Agric, 2020, (9): 38–46.
- [6] 党伊玮, 宋源岩. 消费者购买东帝汶进口水产品的影响因素分析[J]. 世界农业, 2019, (9): 53–58.
DANG YW, SONG HY. Analysis of the influencing factors of consumers purchasing imported aquatic products from East Timor [J]. World Agric, 2019, (9): 53–58.
- [7] NAYLOR RL, HARDY RW, BUSCHMANN AH, et al. A 20-year retrospective review of global aquaculture [J]. Nature, 2021, 591(7851): 551–563.
- [8] 国家统计局. 中华人民共和国 2022 年国民经济和社会发展统计公报[N]. 中国信息报, 2023-03-01(001).
State Statistical Bureau. Statistical bulletin of national economic and social development of the People's Republic of China in 2022 [N]. China Inf News, 2023-03-01(001).
- [9] 仲瑶, 贾惠齐, 苏鹏, 等. 水产品中哈维氏弧菌等温快速检测方法优化及比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(22): 143–151.
ZHONG Y, JIA HQ, SU P, et al. Optimization and comparison of isothermal rapid detection methods for *V. harsonii* in aquatic products [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(22): 143–151.
- [10] 林伟琦. 食品安全快速检测技术的应用研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(3): 961–967.
LIN WQ. Progress in the application of rapid detection technology for food safety [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(3): 961–967.
- [11] YANUHAR U, NURCAHYO H, WDIANTI L, et al. In vivo test of *Vibrio alginolyticus* and *Vibrio harveyi* infection in the humpback grouper (*Cromileptes altivelis*) from East Java Indonesia [J]. Vet World, 2022, 15(5): 1269–1272.
- [12] 杨玲, 宓捷波, 郝景雯, 等. 天津市水产品中镉污染水平和暴露风险评估[J]. 职业与健康, 2022, 38(15): 2050–2053.
YANG L, MI JB, HAO JW, et al. Assessment of cadmium pollution level and exposure risk in aquatic products in Tianjin [J]. Occup Health, 2022, 38(15): 2050–2053.
- [13] 田甜, 巫剑, 文金华, 等. 广西北部湾鲜活水产品中镉污染的膳食暴露风险评估[J]. 现代食品科技, 2021, 37(11): 372–378.
TIAN T, WU J, WEN JH, et al. Dietary exposure risk assessment of cadmium contamination in fresh aquatic products in Beibu Gulf, Guangxi [J]. Mod Food Technol, 2021, 37(11): 372–378.
- [14] 蒋昭琼, 程方平. 干法消解测定大米中的铅镉铬[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(14): 136.
JIANG ZQ, CHENG FP. Determination of lead-cadmium-chromium in rice by dry digestion [J]. Food Res Dev, 2016, 37(14): 136.
- [15] 百南方. 日本“痛痛病”事件[J]. 现代班组, 2023, (11): 28.
BAI NF. The “pain disease” event in Japan [J]. Mod Team Group, 2023, (11): 28.
- [16] 易宗妮, 何作顺. 镉污染与痛痛病[J]. 职业与健康, 2014, 30(17): 2511.
YI ZW, HE ZS. Cadmium pollution and painful disease [J]. Occup Health, 2014, 30(17): 2511.
- [17] 李晓静. 谨防儿童铅中毒[N]. 吉林日报, 2023-05-09(006).
LI XJ. Beware of lead poisoning in children [N]. Jilin Daily, 2023-05-09(006).
- [18] 姜培珍. 警惕淡水鱼中恩诺沙星超标[J]. 食品与生活, 2021, (5): 20.
JIANG PZ. Be ance of enrofloxacin in freshwater fish [J]. Food Life, 2021, (5): 20.
- [19] 陈静, 祁露, 郑雅露, 等. 致病性弧菌及其噬菌体防治研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(24): 9288–9294.
CHEN J, QI L, ZHENG YL, et al. Progress in the control of *Pathogenic vibrio* species and its phages [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(24): 9288–9294.
- [20] BREHM TT, BERNEKING L, ROHDE H, et al. Wound infection with *Vibrio harveyi* following a traumatic leg amputation after a motorboat propeller injury in Mallorca, Spain: A case report and review of literature [J]. BMC Infect Dis, 2020, 20: 1–7.
- [21] 陈锦莉, 何欣蓉, 李发杰, 等. 甲壳类水产食物致敏原及其分子结构的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(7): 82–92.
CHEN JL, HE XR, LI FJ, et al. Progress on crustacean aquatic food allergens and their molecular structure [J]. J Food Saf Qual, 2024, 15(7): 82–92.
- [22] ZOTOVA V, CLARKE AE, CHAN ES, et al. Low resolution rates of seafood allergy [J]. J Aller Clin Imm-Pract, 2019, 7(2): 690–692.
- [23] 童霞, 高申荣, 吴林海. 基于扎根理论的长三角进口水产品质量安全治理路径研究[J]. 南通大学学报(社会科学版), 2023, 39(6): 43–56.
TONG X, GAO SR, WU LH. Research on the quality and safety management path of imported aquatic products in the Yangtze River Delta based on the rooted theory [J]. J Nantong Univ (Soc Sci Ed), 2023, 39(6): 43–56.

- [24] 徐璞, 刘茹, 李玉峰. 疫情防控常态化下上海市进口水产品质量安全管理问题与对策研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(1): 137–143.
XU P, LIU R, LI YF. Research on the quality and safety management of imported aquatic products in Shanghai under the normalization of epidemic prevention and control [J]. Chin J Food Hyg, 2022, 34(1): 137–143.
- [25] 孙姗姗, 罗娇依, 刘彤彤, 等. 食品快速检测产品认证和检测服务能力认可需求分析[J]. 生物加工过程, 2020, 18(4): 425–430.
SUN SS, LUO JY, LIU TT, *et al.* Food rapid testing product certification and testing service capability accreditation requirements analysis [J]. Bioproc Proc, 2020, 18(4): 425–430.
- [26] 丘韶麟, 龚晓莹, 司徒茵, 等. 胶体金快速检测法测定水产品中兽药残留[J]. 食品安全导刊, 2022, (30): 93–95.
QIU SL, GONG XY, SI TY, *et al.* Rapid detection of veterinary drug residues in aquatic products by colloidal gold detection method [J]. Chin Food Saf Magaz, 2022, (30): 93–95.
- [27] 韩金治, 李亚茹, 罗林, 等. 胶体金免疫层析法快速检测水产品中河豚毒素的研究[J]. 分析测试学报, 2023, 42(12): 1598–1606.
HAN JZ, LI YR, LUO L, *et al.* The rapid detection of tetrodotoxin in aquatic products by colloidal gold immunochromatography [J]. J Instrum Anal, 2023, 42(12): 1598–1606.
- [28] 李亭, 李书国. 基于纳米材料的免疫传感器法快速检测水产品中的呋喃西林代谢物[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(3): 866–873.
LI T, LI SG. Nanomaterials-based immunosensor method for rapid detection of furacillin metabolites in aquatic products [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(3): 866–873.
- [29] 王伟达, 杨睿, 郑彦婕, 等. 国内外食品快速检测方法评价技术研究[J]. 食品与药品, 2024, 26(1): 96–103.
WANG WD, YANG R, ZHENG YJ, *et al.* Research on the evaluation technology of the rapid detection method for food at home and abroad [J]. Food Drug Prod, 2024, 26(1): 96–103.
- [30] 宁霄, 贺鑫鑫, 金绍明, 等. 食品快速检测方法的评价及其贝叶斯推断[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(3): 1015–1020.
NING X, HE XX, JIN SM, *et al.* Evaluation of food rapid detection methods and its bayesian inference [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(3): 1015–1020.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)

作者简介



黎蓝聪, 主要研究方向为质量管理工程。
E-mail: 2308071632@qq.com



张倩勉, 高级工程师, 主要研究方向为食品与质量安全/标准化。
E-mail: 190796540@qq.com