

湖北省水产品中持久性有机污染物残留状况分析

朱晓玲^{1,2}, 江丰^{1,2}, 刘杰^{1,2}, 余婷婷^{1,2}, 张莉^{1,2*}, 王会霞^{1,2},
黄辉^{1,2}, 曹琦^{1,2}

(1. 湖北省食品质量安全监督检验研究院, 武汉 430070;
2. 湖北省食品质量安全检测工程技术研究中心, 武汉 430070)

摘要: **目的** 了解湖北省居民日常消费的水产品中持久性有机污染物的残留情况。**方法** 采集水产品品种39种共285批次, 采用气相色谱-质谱法测定水产品中的16种多环芳烃、15种有机氯农药及相关降解产物和31种多氯联苯单体残留, 并进行统计分析。**结果** 3环化合物检出率为46%, 4环化合物检出率为36%, 水产样品中检出的多环芳烃类目标物以3环、4环为主, 为中、低环化合物, 6环化合物在所有样品中均未检出。各品种鱼体内多环芳烃总量排序为: 鲫鱼 > 鳊鱼、刁子鱼 > 草鱼、财鱼、桂鱼、鲢鱼、鳙鱼 > 龙虾、泥鳅、黄鳝、黄颡鱼, 多环芳烃总量最高的为鲫鱼, 检出含量为85.34 μg/kg。**结论** 在湖北省养殖环节和流通环节的水产品中, 多环芳烃类化合物残留主要为蒽、芴、萘、菲, 均为3环、4环化合物; 未检出多氯联苯类化合物; 水产样品中有机氯农药残留主要为滴滴涕、氧氯丹、六氯苯。

关键词: 水产品; 持久性有机污染物; 状况分析; 湖北省

Analysis of persistent organic pollutants residues in aquatic products of Hubei province

ZHU Xiao-Ling^{1,2}, JIANG Feng^{1,2}, LIU Jie^{1,2}, YU Ting-Ting^{1,2}, ZHANG Li^{1,2*},
WANG Hui-Xia^{1,2}, HUANG Hui^{1,2}, CAO Qi^{1,2}

(1. Hubei Provincial Institute for Food Supervision and Test, Wuhan 430070, China;
2. Hubei Provincial Engineering Research Center for Food Test, Wuhan 430070, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the persistent organic pollutant residues in aquatic products consumed by residents in Hubei province. **Methods** A total of 285 batches of 39 varieties of aquatic products were collected. The residues of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons, 15 organochlorine pesticides and related degradation products and 31 polychlorinated biphenyl monomer residue in aquatic products were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and statistical analysis was performed. **Results** The detection rate of 3-ring compounds was 46%, and that of 4-ring compounds was 36%. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) targets detected in aquatic samples were mainly 3-ring and 4-ring compounds, which were medium-ring and low-ring compounds, while 6-ring

基金项目: 湖北省自然科学基金项目(2018CFB339)、2019年度湖北省市场监督管理局科技计划项目(Hbsejg-kj201913)、湖北省食品药品监督管理局2017年度全省食品药品监管系统调研课题(鄂食药监办文[2017]11号)

Fund: Supported by Natural Science Foundation of Hubei Province (2018CFB339), 2019 Science and Technology Program of Hubei Market Supervision and Administration Bureau (Hbsejg-kj201913), Investigation Project of Hubei Food and Drug Administration in 2017 (Hubei Food and Drug Administration [2017] No. 11)

***通信作者:** 张莉, 硕士, 正高级工程师, 研究方向为食品质量安全检测及管理。E-mail: siyi-541@163.com

***Corresponding author:** ZHANG Li, Master, Professor, Hubei Provincial Institute for Food Supervision and Test, No.8, 2nd of Drug Administration Road, Wuhan, Hubei 430070, China. E-mail: siyi-541@163.com

compounds were not detected in all samples. The order of the total amount of PAHs in the various fish species was: crucian carp>bream, diaozi>grass carp, fortune fish, mandarin fish, catfish, silver carp>lobster, loach, yellow eel, yellow catfish. Crucian carp had the highest total amount of PAHs, with a detected content of 85.34 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Conclusion In the aquatic products in the breeding and circulation links of Hubei province, the residues of polycyclic aromatic hydrocarbon compounds are mainly anthracene, fluorene, naphthalene, and phenanthrene, all of which are 3-ring and 4-ring compounds. No polychlorinated biphenyl compounds were detected, and the organochlorine pesticide residues in aquatic samples were mainly dichlorodiphenyl trichloroethane, oxychlordane, and hexachlorobenzene.

KEY WORDS: aquatic products; persistent organic pollutants; situation analysis; Hubei province

0 引言

持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs)是具有生物蓄积性、长期残留性、不易分解和高毒性,能够通过各种环境介质进行长距离迁移,并且会对人类健康和环境产生严重危害,是天然或人工合成的有机污染物^[1]。POPs 具有很强的憎水性特征,在生物体的脂肪组织内会产生生物积累,并且沿着食物链逐级富集,即使在空气、水、土壤和其他环境介质中的浓度很低,在处于高营养级的动物体内积累也可能达到足以造成严重负面影响的水平。POPs 具有致癌、致畸和致突变效应^[2-3],人体长期低剂量的接触虽不会导致明显的急性毒效应,但会引起内分泌和免疫系统的慢性损伤。长期食用遭受 POPs 污染的动物源食品,同样存在因为蓄积风险而造成人体健康危害。

自 20 世纪 70 年代起,全球采取措施消除控制 POPs,中国也开始针对 POPs 采取了多项措施以保护环境和维护民众健康,然而鉴于 POPs 的稳定性及其迁移特性,近几年的文献报道在我国水生环境介质内仍残留有大量的例如有机氯农药(organochlorine pesticides, OCPs)、多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)、多氯联苯(polychlorinated biphenyls, PCBs)等典型的 POPs^[4-6],且在鱼、虾、蟹、贝类等水产中检出^[7-10]。

目前关于水产品中持久性有机污染物的相关研究主要集中在沿海地区^[11-13]及经济较为发达的珠三角^[14]、长三角地区^[15],仅有少量文献报道湖北省内及周边水生环境遭受 POPs 污染的风险^[16],而对水产品的风险分析较少。因此,本研究针对湖北省流通环节和养殖环节的水产品开展 POPs 污染现状调研,通过测定 16 种 PAHs、15 种 OCPs 及相关降解产物和 31 种 PCBs 单体,以掌握湖北省水产品中的持久性有机污染物残留情况,为保障消费者身体健康和生命安全提供监管建议。

1 材料与方法

1.1 样品收集

样品采集品种主要包括:青鱼(*Mylopharyngodo*

npiceus)、草鱼(*Ctenopharyngodonidellus*)、鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙鱼(*Hypophthalmichthys nobilis*)、鲫鱼(*Carassius auratus*)、武昌鱼(*Megalobrama amblycephala*)、鳊鱼(*Parabramis pekinensis*)等,同时也有部分特种养殖产品,包括黄鳝(*Monopterus albus*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)、龙虾(*Procambarus clarkia*)、螃蟹(*Brachyura*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)等。考虑到我省居民日常消费的水产品除了来自我省自主养殖外,还涉及外省输入,因此,本研究的样品品种选择在覆盖我省各类养殖方式的基础上,同时结合特色养殖、养殖产量、日常消费情况等因素^[17],使监测样品尽可能全面代表我省水产品质量安全状况,共采集水产样品品种 39 种,285 批次,其中鲫鱼、鳊鱼、草鱼、黄颡鱼等大宗消费品种采集数量相对较多。

样品采集地点:养殖环节主要在我省淡水产品主要产区(仙桃、潜江、咸宁)的大型养殖点进行采集;流通环节主要在居民日常消费购买水产品的大型水产批发市场、大中型超市、农贸市场、个体散户菜市场等,共计 60 个采集点,以尽可能全面了解湖北省养殖环节和消费环节淡水产品的污染水平和食用风险。

1.2 仪器与试剂

TSQ 8000 EVO 气相色谱-三重四极杆质谱仪(美国 Thermo 公司); GM 300 刀式捣磨仪(德国 Retsch GmbH 公司); HEI-VAP/LR20 旋转蒸发仪(德国 Heidolph 公司); N-EVAP 116 氮气浓缩器(美国 Organomation 公司); SB25-12DTS 超声波清洗器(宁波新芝生物科技有限公司); YALBOYS 涡旋混合器(上海安谱实验科技股份有限公司); MS205DU 电子天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; Milli-Q 超纯水器(美国 Millipore 公司)。

16 种 PAHs 混合标准溶液(2000 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、同位素内标(200 $\mu\text{g}/\text{mL}$)(美国 O2si 公司);有机氯标准溶液(100 $\mu\text{g}/\text{mL}$,农业部环境保护科研监测所);多氯联苯混合标准溶液(2000 ng/mL ,美国 Wellington 公司)。

正己烷、二氯甲烷、丙酮、甲醇、乙腈、异辛烷(色谱纯,德国 Merck 公司);乙酸乙酯(分析纯)、石油醚(分析纯)、氯化钠(分析纯)、无水硫酸钠(优级纯)、硫酸(优级

纯)、氢氧化钠(优级纯)、硝酸银(优级纯)(国药集团化学试剂有限公司); 0.22 μm 微孔滤膜(有机相, 天津博纳艾杰尔有限公司)。

1.3 实验过程

1.3.1 样品预处理

对于采集的 285 批次水产样品进行预处理, 对于有鳞的水产品, 如鲫鱼、鳊鱼、草鱼等, 首先去鳞、去内脏、清洗; 对于无鳞的水产品, 如黄颡鱼、黄鳝等, 去内脏、清洗; 甲壳类水产品, 如小龙虾等, 去壳、去虾线; 分别取可食部分(皮+肉), 采用捣磨仪进行粉碎, 每粉碎一个样品后用清水清洗粉碎机, 再进行下一个样品的粉碎, 以避免交叉污染, 经粉碎处理后的样品置于自封袋中, 标记编号, 于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中冷冻保存, 待检测。

1.3.2 检测项目

根据文献报道情况^[1-18], 确定持久性有机污染物监测项目, 包括 16 种 USEPA 优控的 PAHs、15 种 OCPs 及相关降解产物和 31 种检出率较高的 PCBs 单体, 详见表 1。

1.3.3 检测方法

样品处理与测定均按照国家标准方法进行。标准方

法分别为 GB 5009.190—2014《食品安全国家标准 食品中指示性多氯联苯含量的测定》^[19]第一法稳定性同位素稀释的气相色谱-质谱法、GB 5009.265—2016《食品安全国家标准 食品中多环芳烃的测定》^[20]第二法气相色谱-质谱法和 GB/T 5009.16—2008《动物性食品中有机氯农药和拟除虫菊酯农药多组分残留量的测定》^[21]第一法气相色谱-质谱法。

1.3.4 数据处理

对目标化合物进行定性定量数据处理, 采用 Excel 对数据进行汇总分析。

2 结果与分析

2.1 按检测项目分析

本研究中, 检测目标物主要为多环芳烃、多氯联苯和有机氯农药 3 类, 共 59 种目标化合物。通过检测, 发现其中的 22 种目标化合物在水产样品中有不同程度的检出, 另外 37 种化合物均未检出, 有检出的目标化合物(11 种多环芳烃和 11 种有机氯农药)的残留检测结果详见表 2, 并分别按检测项目大类进行详细分析。

表 1 目标化合物
Table 1 Target compounds

类别	化合物名称
PAHs	萘、苊、二氢苊、芴、菲、蒽、荧蒽、比、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]、荧蒽、苯并[a]比、并[1,2,3-cd]比、二苯并[a,h]蒽、苯并[ghi]比
OCPs	六氯苯、艾氏剂、异狄试剂、灭蚊灵、 α -硫丹、 β -硫丹、七氯、环氧七氯、顺式氯丹、反式氯丹、氧氯丹、顺式九氯、反式九氯、滴滴涕(p,p'-DDT、o,p'-DDT)及其代谢产物(o,p'-DDE、o,p'-DDD、p,p'-DDE、p,p'-DDD)、六六六的 4 种同分异构体(α -HCH、 β -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH)
PCBs	PCB28、PCB52、PCB49、PCB44、PCB37、PCB74、PCB70、PCB66、PCB60、PCB101、PCB99、PCB87、PCB77、PCB82、PCB118、PCB114、PCB153、PCB105、PCB179、PCB138、PCB126、PCB158、PCB187、PCB183、PCB166、PCB128、PCB180、PCB156、PCB170、PCB169、PCB189

表 2 有检出的目标化合物的残留检测结果
Table 2 Detection results of target compound residues

名称	检测总数/批次	检出数量/批次	检出率/%	含量范围/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
苊	224	190	84.82	ND ~ 16.83	3.62
苊烯	224	157	70.09	ND ~ 7.77	2.32
蒽	224	221	98.66	ND ~ 257.98	4.12
苯并(a)蒽	224	1	0.45	ND ~ 0.88	0.88
苯并(a)比	224	1	0.45	ND ~ 0.75	0.75
屈	224	1	0.45	ND ~ 2.17	2.17
荧蒽	224	123	54.91	ND ~ 247.2	7.22
芴	224	222	99.11	ND ~ 92.68	14.77
萘	224	223	99.55	ND ~ 95.73	16.84
菲	224	222	99.11	ND ~ 972.32	28.57

表 2(续)

名称	检测总数/批次	检出数量/批次	检出率/%	含量范围/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
芘	224	105	46.88	ND ~ 95.15	3.07
艾氏剂	224	1	0.45	ND ~ 3	3.00
α -六六六	224	13	5.8	ND ~ 18.58	4.19
β -六六六	224	2	0.89	ND ~ 4.65	3.33
γ -六六六	224	3	1.34	ND ~ 1.84	1.57
DDD p,p	224	8	3.57	ND ~ 38.93	9.22
DDE p,p	224	129	57.59	ND ~ 488.99	7.38
DDT o,p	224	5	2.23	ND ~ 31.39	7.22
异狄氏剂	224	1	0.45	ND ~ 5.96	5.96
环氧七氯	224	3	1.34	ND ~ 17.09	13.47
六氯苯	224	30	13.39	ND ~ 13.57	2.58
氧氯丹	224	31	13.84	ND ~ 44.16	15.71

注: ND 为未检出。

2.1.1 多环芳烃类化合物

本研究中多环芳烃类化合物共检测目标物 16 种, 水产样品中检出 11 种。表 2 结果显示: 苯并(b)荧蒽、苯并(g,h,i)芘、苯并(k)荧蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并(1,2,3-c,d)芘在所有样品中均未检出, 另外几种化合物(萘、萘烯、蒽、苯并(a)蒽、苯并(a)芘、屈、荧蒽、芴、蔡、菲、芘)在样品中有不同程度的检出。蒽、芴、蔡、菲的检出率较高, 达 98%以上; 萘、萘烯的检出率次之, 达 70%~85%; 荧蒽、芘、DDE p,p 检出率为 45%~60%; 苯并(a)蒽、苯并(a)芘、屈检出率相对较低, 低于 10%, 与汪红军等^[22]研究结果一致。

按照检出目标化合物所含的苯环个数进行统计, 结果见图 1。由图 1 可见, 3 环化合物检出率为 46%, 4 环化合物检出率为 36%, 水产样品中检出的多环芳烃类目标物以 3 环、4 环为主, 为中、低环化合物, 6 环化合物在所有样品中均未检出。谢文平等^[23]2014 年对广州罗非鱼养殖区水体及鱼体中的多环芳烃进行了分析, 在所检测的 16 种优控 PAHs 中, 罗非鱼肌肉中检出的 PAHs 同样以低环 PAHs 为主, 中高环含量很低或未检出。

另外, 从目标化合物的检出含量分析, 表 2 中显示, 各水产样品体内多环芳烃的检出浓度范围为 0~972.32 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 其中, 菲的检出含量最高, 达 972.32 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 鱼体内多环芳烃残留量平均值占前 3 名的目标化合物分别为菲、蔡、芴, 这 3 种化合物无论从检出率还是检出含量均最高, 另外, 萘、萘烯、蒽、荧蒽、芘的检出率也较高, 但检出含量相对较低。产生此现象可能与养殖水体中各污染物的残留情况有关, 也可能与水产品对这 3 种目标物的富集和代谢速率有关。

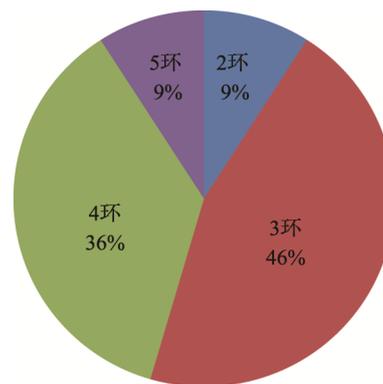


图 1 检出的多环芳烃类化合物的结构中所含苯环数统计
Fig.1 Statistics of benzene rings in the structure of polycyclic aromatic hydrocarbons detected

2.1.2 有机氯农药

本研究共检测有机氯农药目标物 23 种, 在水产样品中有检出的目标物 11 种。其中 δ -六六六、顺式氯丹、反式氯丹、DDD o,p、DDE o,p、DDT p,p、 α -硫丹、 β -硫丹、七氯、灭蚁灵、顺式九氯、反式九氯在所有样品中均未检出, 其他有机氯农药(艾氏剂、 α -六六六、 β -六六六、 γ -六六六、DDD p,p、DDE p,p、DDT o,p、异狄氏剂、环氧七氯、六氯苯、氧氯丹)在样品中有不同程度的检出。

表 2 显示, 水产样品中有机氯农药残留检出率占前 3 名的目标物分别为: DDE p,p、氧氯丹、六氯苯, 其中 DDE p,p 的检出率最高, 达 57.59%, 氧氯丹和六氯苯的检出率分别为 13.84%和 13.39%, 其他目标物的检出率均小于 6%。

从检出含量分析, 鱼体内的有机氯农药残留的检出浓度范围为 0~488.99 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 其中 DDE p,p 的含量最高达 488.99 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 远低于 2010 年连子如等^[24]在青岛近海生物体内检出的滴滴涕含量(411.34~3026.74 ng/g); 所检出的有机氯农药含量前 4 名的目标物分别为氧氯丹、环氧七氯、DDD p,p、DDE p,p; DDE p,p、氧氯丹的检出率和检出含量均较高。

2.1.3 多氯联苯类化合物

在本次研究中, 所检测的 31 种多氯联苯类化合物在所有样品中均未检出。

2.2 按样品品种分析

表 3 显示了不同品种的水产样品所检出相应目标化合物的平均含量, 未列出的水产品种为未检出相应的污染物, 从检测结果可以看出, 多环芳烃类化合物在各品种的水产样品体内的含量分布具有较强的特征性, 均为菲、萘、芴的含量较高, 荧蒽、苊、苊烯、蒽、芘的含量较低, 苯并(a)蒽、苯并(a)芘和屈均未检出或少量检出。各品种鱼体内多环芳烃总量排序为: 鲫鱼 > 鳊鱼、刁子鱼 > 草鱼、财鱼、桂鱼、鲢鱼 > 龙虾、泥鳅、黄鳝、黄颡鱼, 多环芳烃总量最高的为鲫鱼, 检出含量为 85.34 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

表 3 不同品种鱼类检出目标物的平均含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Table 3 Average content of detected target in different species of fish($\mu\text{g}/\text{kg}$)

项目/品种	鳊鱼	财鱼	草鱼	刁子鱼	桂鱼	黄颡鱼	黄鳝	鲫鱼	鲢鱼	鲢鱼	龙虾	泥鳅
苊	3.28	2.3	3.39	4.42	3.56	2.58	3.35	3.5	3.21	2.7	2.9	3.28
苊烯	2.29	3.53	2.01	2.37	2.09	1.39	1.7	3.49	1.9	2.18	1.76	1.76
蒽	3.09	2.74	2.64	3.14	2.16	1.76	1.58	3.82	1.75	1.67	1.61	1.64
苯并(a)蒽	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
苯并(a)芘	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
屈	0	0	2.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
荧蒽	5.08	5.47	6.73	4.57	3.19	1.52	1.45	7.05	3.21	1.25	1.17	1.54
芴	15.35	13.88	11.54	16.35	14.44	13.05	11.66	16	11.14	11	12.49	13.22
萘	18.78	14.09	14.55	18.27	13.95	10.03	10.55	19.85	18.53	19.19	16.46	12.56
菲	26.22	22.33	24.33	25.13	21.65	10.21	14.63	28.99	22.14	20.17	14.77	12.06
芘	2.17	2.04	2.39	1.97	2.27	0.42	0.82	2.64	0.67	1.1	0.77	0.7
PAHs 总量	76.26	66.38	69.75	76.22	63.31	40.96	45.74	85.34	62.55	59.26	51.93	46.76
艾氏剂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
α -六六六	1.67	1.77	0.74	1.04	9.7	0	0	4.89	0	0	0	0
β -六六六	4.65	2.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
γ -六六六	1.55	0	0	0	0	0	0	1.58	0	0	0	0
DDD p,p	0	0	0	0	19.92	0	0	0	0	0	0	0.1
DDE p,p	3.9	0.99	1.95	3.09	1.58	0.45	1.02	6.86	4.31	3.55	3.95	2.19
DDT o,p	1.19	0.91	0	1.01	0	0	0	0	0	1.62	0	0
异狄氏剂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
环氧七氯	0	0	17.09	0	0	0	0	15.47	0	0	0	0
六氯苯	1.43	0	3.86	3.38	5.48	0	0	2.15	0	1.27	0	1.98
氧氯丹	14.98	0	14.25	10.23	14.6	0	0	17.95	0	0	0	0
农药总量	29.37	5.68	37.89	18.75	51.28	0.45	1.02	48.9	4.31	6.44	3.95	4.27

表 3 中有机氯农药残留检测结果显示, 农药在各水产品品种中的残留量差异较大, 从总量上看, 农药残留量最少的为黄颡鱼, 残留较多的为桂鱼、鲫鱼、草鱼、鳊鱼。其中六六六和滴滴涕的残留量已远远低于文献报道的 20 世纪 90 年代鱼体中的残留水平(平均浓度分别为 59.3 ~ 110.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 29.6 ~ 124.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$)^[25], 说明随着这些农药的禁用, 环境中的浓度逐渐降低, 在鱼体中的残留也逐渐减少。另外本研究实验结果还显示, 除六六六和滴滴涕以外的农药, 如: 氧氯丹、六氯苯, 在部分品种的鱼体中检出率也较高, 主要在鳊鱼、草鱼、刁子鱼、桂鱼和鲫鱼检出率较高, 六氯苯是联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)国际公约中首批控制的 12 种 POPs 之一^[26], 虽然我国已禁止其作为农药使用, 但工农业生产和垃圾燃烧等仍会产生, 且具有长期残留性、生物蓄积性、长半衰期和高毒性; 氧氯丹也是我国早已禁止生产使用的杀虫剂农药^[27]; 由此可见, 鱼体内持久性有机污染物的残留问题仍然值得关注。另外, 持久性有机污染物的残留有别于兽药残留, 鱼体内对环境有机污染物的富集, 往往是多目标物的同时富集, 如图 2 和图 3, 鱼体内同时检出 5 种以上的多环芳烃类化合物的频率为 93%, 同时检出 2 种以上的有机氯农药的频率为 25%, 多种化合物复合污染后的食用安全性值得关注。

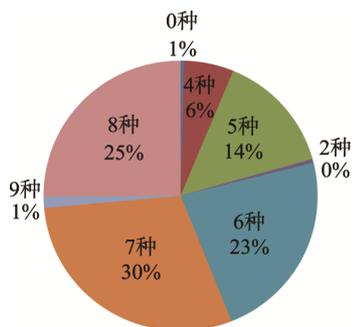


图 2 鱼肉中检出多环芳烃种类数量情况

Fig.2 Number of PAHs detected in fish

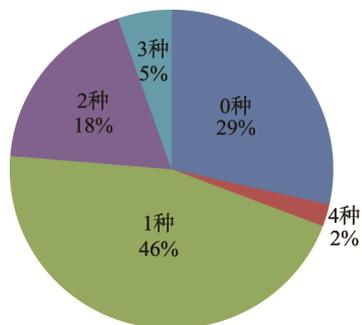


图 3 鱼肉中检出有机氯农药种类数量情况

Fig.3 Number of organochlorine pesticides detected in fish

3 结 论

通过对湖北省养殖环节和流通环节的 39 个水产品种, 共 285 批次水产样品中的持久性有机污染物进行检测分析, 发现目前湖北省水产品中, 多环芳烃类化合物残留主要为蒽、芴、萘、菲, 均为 3 环、4 环化合物, 毒性相对较低; 水产样品中所检测的 31 种多氯联苯类化合物在所有样品中均未检出; 水产样品中有机氯农药残留主要为 DDE p,p、氧氯丹、六氯苯, 其中六六六、滴滴涕的残留量远低于文献报道的 20 世纪 90 年代鱼体中的残留水平^[25], 说明随着这些农药的禁用, 环境中的浓度逐渐降低, 在水产品中的残留也逐渐减少, 但是由于这些农药具有长期残留性、生物蓄积性、长半衰期和高毒性, 水产样品中的持久性有机污染物农药残留问题仍然值得关注。另外, 水产样品中多种污染物的同时富集, 以及富集后的食用安全性问题也值得关注。

参考文献

- [1] 荣茂, 余婷婷, 靳海斌, 等. 加速溶剂萃取/凝胶渗透色谱净化/气相色谱-三重四级杆质谱测定水产品中的持久性有机污染物[J]. 现代食品科技, 2020, 36(4): 304-315.
- [2] RONG M, YU TT, JING HB, *et al.* Determination of persistent organic pollutants (POPs) in aquatic products by accelerated solvent extraction/gel permeation chromatography/gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2020, 36(4): 304-315.
- [3] BOLS NC, BRUBACHER JL, GANASSIN RC, *et al.* Ecotoxicology and innate immunity in fish [J]. *Dev Comparat Immunol*, 2001, 25(8-9): 853-873.
- [4] VIGANÒ L, CAMOIRANO A, IZZOTTI A, *et al.* Mutagenicity of sediments along the Po river and genotoxicity biomarkers in fish from polluted areas [J]. *Mutat Res/Genet Toxicol Environ Mutagen*, 2002, 515(1-2): 125-134.
- [5] 曾惠, 罗教华, 张卫东, 等. 某市主城自来水中多环芳烃和邻苯二甲酸酯的健康风险评估[J]. 第三军医大学学报, 2020, 42(11): 1116-1123.
- [6] ZENG H, LUO JH, ZHANG WD, *et al.* Health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons and phthalates in finished water from waterworks in a metropolis [J]. *J Third Milit Med Univ*, 2020, 42(11): 1116-1123.
- [7] 任敏, 赵高峰, 王晓燕, 等. 环境中氯苯甲醚类污染物研究进展[J]. 环境工程技术学报, 2017, 7(3): 357-365.
- [8] REN M, ZHAO GF, WANG XY, *et al.* Research progress of chloroanisoles pollutants in the environment [J]. *J Environ Eng Technol*, 2017, 7(3): 357-365.
- [9] 陶玉强, 赵睿涵. 持久性有机污染物在中国湖库水体中的污染现状及分布特征[J]. 湖泊科学, 2020, 32(2): 309-324.

- TAO YQ, ZHAO RH. Occurrence and distribution of persistent organic pollutants in water of Chinese lakes and reservoirs[J]. *J Lake Sci*, 2016, 32(5): 220–224.
- [7] 尹怡, 郑光明, 朱新平, 等. 分散固相萃取/气相色谱-质谱联用法快速测定鱼、虾中的16种多环芳烃[J]. *分析测试学报*, 2011, 30(10): 1107–1112.
- YIN Y, ZHENG GM, ZHU XP, *et al.* Determination of PAHs in fish and shrimp by gas chromatography-mass spectrometry with dispersive solid phase extraction [J]. *J Instrum Anal*, 2011, 30(10): 1107–1112.
- [8] 马健, 翟永越, 王东辉. 多环芳烃在松花江水环境中的富集及对生态环境的影响[J]. *环境科学与管理*, 2006, 1(31): 91–92.
- MA J, ZHAI YY, WANG DH. Concentration of PAHs in aquatic environment in Songhua river and effect to ecological environment [J]. *Environ Sci Manag*, 2006, 1(31): 91–92.
- [9] 王薇, 李清波, 王晨祥, 等. 辽东半岛海域鱼贝中有机氯农药残留及其风险评估[J]. *生态毒理学报*, 2015, 10(3): 135–143.
- WANG W, LI QB, WANG CX, *et al.* Residues and risk assessment of organochlorine pesticides in fish and shellfish samples of Liaodong peninsula [J]. *Asian J Ecotoxicol*, 2015, 10(3): 135–143.
- [10] 徐彪, 孙丙华, 姜珊, 等. 巢湖5种鱼类肌肉部位有机氯农药分布特征研究及风险评估[J]. *生物学杂志*, 2016, 33(5): 19–22.
- XU B, SUN BH, JIANG S, *et al.* Distribution features and risk assessment of OCPs in muscle parts of five fishes from Chao lake [J]. *J Biol*, 2016, 33(5): 19–22.
- [11] 王莹, 仇雁翎, 费勇, 等. 养殖鳊鱼体内典型有机氯化物的检测与人体健康风险评估初探[J]. *环境科学*, 2011, 32(8): 2385–2390.
- WANG Y, QIU YL, FEI Y, *et al.* Measurement and preliminary human health risk assessment of representative organochlorines in farmed mandarin fish [J]. *Environ Sci*, 2011, 32(8): 2385–2390.
- [12] 曾凡刚. 我国南海海鱼中有机氯农药残留分析[J]. *岩矿测试*, 2010, 29(3): 241–244.
- ZENG FG. Analysis of organochlorine pesticide residues in marine fishes from south China sea [J]. *Rock Miner Anal*, 2010, 29(3): 241–244.
- [13] 连子如, 王江涛, 谭丽菊, 等. 青岛近海生物体内多环芳烃、多氯联苯和有机氯农药的含量和分布特征[J]. *生态毒理学报*, 2010, 5(5): 746–751.
- LIAN ZR, WANG JT, TAN LJ, *et al.* Concentrations and distribution characteristic of PAHs, PCBs and OCPs in the marine organisms of Qingdao coastal area [J]. *Asian J Ecotoxicol*, 2010, 5(5): 746–751.
- [14] 董军, 栾天罡, 邹世春, 等. 珠江三角洲淡水养殖沉积物及鱼体中DDTs和PAHs的残留与风险分析[J]. *生态环境*, 2006, 15(4): 693–696.
- DONG J, LUAN TG, ZOU SC, *et al.* Residues and risk assessment of DDTs and PAHs in sediments and fish from Pearl River Delta area [J]. *Ecol Environ*, 2006, 15(4): 693–696.
- [15] 徐思敏, 王建辉, 刘永乐, 等. 洞庭湖区淡水鱼中有毒有害物质残留研究现状[J]. *食品与机械*, 2016, 32(5): 220–224.
- XU SM, WANGJH, LIU YL, *et al.* Review on current situation of harmful residual of freshwater fish in Dongting lake region [J]. *Food Mach*, 2016, 32(5): 220–224.
- [16] 汪红军, 郑金秀, 李嗣新, 等. 汉江下游水体和鱼体多环芳烃分布特征及健康风险[J]. *水生态学杂志*, 2016, 37(6): 51–58.
- WANG HJ, ZHENG JX, LI SX, *et al.* Distribution characteristics and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the water and fish of lower Hanjiang river [J]. *J Hydroecol*, 2016, 37(6): 51–58.
- [17] 水产养殖网. 湖北水产养殖迈向绿色时代[EB/OL]. [2019-08-29]. http://www.shuichan.cc/news_view-389619.html.
- Aquaculture Net. Hubei aquaculture is moving towards a green era [EB/OL]. [2019-08-29]. http://www.shuichan.cc/news_view-389619.html.
- [18] 林建清, 王新红, 洪华生. 养殖水体中多环芳烃污染对水产品安全的影响[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 41–45.
- LIN JQ, WANG XH, HONG HS. Effect of aquaculture PAH pollution on seafood security [J]. *Food Sci*, 2006, 27(12): 41–45.
- [19] GB 5009.190—2014 食品安全国家标准食品中指示性多氯联苯含量的测定[S].
- GB 5009.190—2014 National food safety standard-Determination of indicative polychlorinated biphenyls content in food [S].
- [20] GB 5009.265—2016 食品安全国家标准食品中多环芳烃的测定[S].
- GB 5009.265—2016 National food safety standard-Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in food [S].
- [21] GB/T 5009.162—2008 动物性食品中有机氯农药和拟除虫菊酯农药多组分残留量的测定[S].
- GB/T 5009.162—2008 Determination of organochlorine pesticide and pyrethroid pesticide multiresidues in animal original foods [S].
- [22] 汪红军, 郑金秀, 李嗣新, 等. 汉江下游水体和鱼体多环芳烃分布特征及健康风险[J]. *水生态学杂志*, 2016, 37(6): 51–58.
- WANG HJ, ZHENG JX, LI SX, *et al.* Distribution characteristics and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the water and fish of lower Hanjiang river [J]. *J Hydroecol*, 2016, 37(6): 51–58.
- [23] 谢文平, 朱新平, 郑光明, 等. 广东罗非鱼养殖区水体及鱼体中多环芳烃的含量与健康风险[J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(12): 2450–2456.
- XIE WP, ZHU XP, ZHENG GM, *et al.* Health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and fish from Tilapia pond of Guangdong [J]. *J Agro-Environ Sci*, 2014, 33(12): 2450–2456.
- [24] 连子如, 王江涛, 谭丽菊, 等. 青岛近海生物体内多环芳烃、多氯联苯和有机氯农药的含量和分布特征[J]. *生态毒理学报*, 2010, 5: 746–751.

LIAN ZR, WANG JT, TAN LJ, *et al.* Concentrations and distribution characteristic of PAHs, PCBs and OCPs in the marine organisms of Qingdao coastal area [J]. *Asian J Ecotoxicol*, 2010, 5: 746-751.

[25] 窦薇, 赵忠宪. 白洋淀几种不同食性鱼类对六六六、DDT 的富集[J]. *环境科学进展*, 1996, 4(6): 51-56.

DOU W, ZHAO ZX. A study on bioaccumulation of BHC and DDT in fish muscles of different food structure from baiyangdian lake [J]. *Adv Environ Sci*, 1996, 4(6): 51-56.

[26] 任仁. 《斯德哥尔摩公约》禁用的 12 种持久性有机污染物[J]. *大学化学*, 2003, 18(3): 37-41.

REN R. 12 persistent organic pollutants prohibited by the *Stockholm convention* [J]. *Univ Chem*, 2003, 18(3): 37-41.

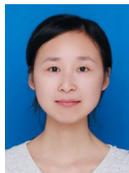
[27] 陈洁文, 柯常亮, 甘居利. 气相色谱法测定水产品中氯丹残留量[J]. *生态与农村环境学报*, 2011, 27(3): 98-102.

CHEN JW, KE CL, GAN JL. Determination of chlordane residue in

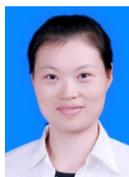
aquatic products with gas chromatography [J]. *J Ecol Rural Environ*, 2011, 27(3): 98-102.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



朱晓玲, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品质量安全检测。
E-mail: 342960150@qq.com



张莉, 硕士, 正高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全检测及管理。
E-mail: siyi_541@163.com



食品加工工艺优化及应用研究

随之人类对自身健康的关注及生活水平的提高, 加工食品因保持其原色、原味及食品营养成分的优越性备受关注。越来越多的新工艺新方法应用于食品加工业, 尤其是多种工艺的综合利用, 对食品行业的发展起到了巨大的推动作用。

鉴于此, 本刊特别策划“食品加工工艺优化及应用研究”专题, 主要围绕加工工艺优化(提取工艺优化、配方优化、纯化优化、制备优化、响应面法优化等)、食品加工的综合利用及评价等问题展开讨论, 计划在 2021 年 2/3 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心 吴永宁 研究员特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力, 综述及研究论文均可。请在 2021 年 1 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题食品加工工艺优化及应用研究):

网站: www.chinafoodj.com(备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者

登录-注册投稿-投稿栏目选择“2020 专题: 食品加工工艺优化及应用研究”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsq@126.com(备注: 食品加工工艺优化及应用研究专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部