

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.01.016

# 湖南省克氏原螯虾及其养殖水环境中 Pb 分布情况及相关性研究

Distribution and correlation of Pb between *Procambarus clarkii* and aquaculture environment in Hunan province

田津津 朱玉林

TIAN Jin-jin ZHU Yu-lin

(中南林业科技大学, 湖南长沙 410004)

(Central South University of Forestry and Technology Changsha City in Hunan Province, Changsha, Hunan 410004, China)

**摘要:**采用抽样调查方法从湖南省淡水虾养殖基地对克氏原螯虾及养殖环境进行采样,检测 Pb 含量,对数据进行统计分析。结果显示:湖南省养殖虾、养殖环境中 Pb 含量均是益阳>岳阳>常德,其中益阳虾 Pb 超标率最高,为 63%。虾头部、尾部和水体沉积物的 Pb 含量分布存在地区差异( $P<0.05$ );不同地区养殖水体的 Pb 含量差异无统计学意义( $P=0.051$ )。养殖环境、虾 Pb 含量与养殖水及水底沉积物间的差异均具有统计学意义( $P<0.05$ );养殖水与沉积物间差异无统计学意义。逐步 Logistic 回归分析表明,养殖水和水底沉积物中 Pb 含量是淡水虾 Pb 超标的独立危险因素( $OR_{\text{养殖水}}=1.018, P<0.05$ ;  $OR_{\text{沉积物}}=1.505, P<0.0001$ )。此外,养殖水及水底沉积物的交互作用也影响淡水虾的 Pb 超标情况( $OR_{\text{交互}}=1.015, P<0.0001$ )。综上,湖南省淡水虾养殖基地养殖环境出现不同程度的 Pb 偏高,且克氏原螯虾 Pb 与养殖水环境 Pb 存在明显的相关性。但湖南地区淡水虾养殖基地克氏原螯虾食用部分不存在 Pb 含量偏高情况,可放心食用。

**关键词:**克氏原螯虾;养殖水;水底沉积物;Pb 含量

**Abstract:** She sampling survey was used to sample the cultured *P. clarkii* and the environment from the freshwater shrimp breeding base in Hunan province. Tested the Pb content and per-

**基金项目:**2019 年度湖南省重点领域研发计划(编号:2019NK2103);湖南省教育厅科学研究项目(编号:18C0288);中南林业科技大学青年科学研究基金项目(编号:2016QY010)

**作者简介:**田津津,女,中南林业科技大学讲师,博士。

**通信作者:**朱玉林(1968—),男,中南林业科技大学教授,博士生导师,博士。Email:zh-y-lin@126.com

**收稿日期:**2019-11-05

formed statistical analysis on the relevant data. The results showed that the Pb content in shrimp, culture water and bottom sediment was Yiyang > Yueyang > Changde city in Hunan province. Among them, Yiyang city had the highest Pb over-standard rate, which was 63%. Significant differences in Pb content in shrimp head, tail, and water sediments were found in different city ( $P<0.05$ ), and Pb content between different city of culture water are not statistically significant differences ( $P=0.05$ ). In the culture environment, the Pb content differences between shrimp, culture water and bottom sediments were statistically significant (all  $P<0.05$ ), and the differences between culture water and sediments were not statistically significant. Logistic regression analysis showed that the Pb content in culture water and bottom sediment was an independent risk factor for Pb over-standard in freshwater shrimp (culture water  $OR=1.018, P<0.049$ ; sediment  $OR=1.505, P<0.0001$ ). In addition, the interaction between culture water and bottom sediment was also an independent influencing factor for Pb over-standard in freshwater shrimp (interaction  $OR=1.015, P<0.0001$ ). There were different levels of Pb in the culture environment of *P. clarkii* breeding bases in Hunan province. There is a significant correlation between the Pb content of *Procambarus clarkii* and the culture water environment. However, there is almost no Pb in the edible part of the original crayfish in Hunan, which can be eaten with peace of mind. However, there is almost no Pb over-standard in the edible part of *Protocladium clavonii* in freshwater shrimp breeding base in Hunan province, and it can be eaten with peace of mind.

**Keywords:** *Protocladium clarkii*; culture water; bottom sediment; Pb content

克氏原螯虾(*procambarus clarkii*)即俗称的淡水小龙虾,属于甲壳类外来生物,由于其强大的生存适应能力,在河流、湖泊、稻田等水体中均可生长繁殖并对当地鱼虾生存造成威胁。目前,淡水虾类已成为最具渔业经济价值的生物<sup>[1]</sup>。近年来,淡水虾类的食用安全隐患问题逐渐引起关注<sup>[2-4]</sup>。

作为水环境检测重要指标之一的重金属在生态系统的食物链和食物网的传递过程中存在富集作用,因此小龙虾体内重金属富集情况及其对人类健康的影响一直是研究的热点<sup>[5-6]</sup>。但是,淡水虾类的生长养殖环境是保障食品安全的基础和关键环节<sup>[7-8]</sup>,其中养殖水和水底沉积物是淡水虾类生命活动场所,直接影响淡水虾的质量和安<sup>[9]</sup>。而关于淡水虾的养殖环境与虾体重金属富集间的相关性尚未见报道。

试验拟采用抽样调查方法从湖南省淡水虾养殖基地对克氏原螯虾及养殖环境进行采样,检测 Pb 含量,探索湖南省淡水虾及其养殖环境中重金属 Pb 的含量和分布情况及其相关性,为淡水克氏原螯虾养殖安全的防治提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 样品采集

选择湖南省下属常德、岳阳、益阳 3 大淡水虾养殖基地,分别随机选取 4 个养殖场(大、中、小型养殖场分别为 1,2,1 个),分别捕捞克氏原螯虾 10 份(共 40 份)样品放入塑料自封袋中,冷藏,并于 6 h 内送回实验室,同时采集对应的龙虾养殖水体水样和水体底部沉积淤泥各 10 份(共 40 份)放入玻璃罐中,加冰袋低温运回实验室,4 ℃ 保存待测。共采集小龙虾样本 120 份,养殖水样 120 份,水底沉积物 120 份。

### 1.2 小龙虾 Pb 含量检测

将小龙虾用清水清洗干净,分成虾头和虾尾两部分进行编号,搅碎成匀浆,参照 GB 5009.11—2010 中的石墨炉原子吸收光谱法检测 Pb 含量,检出限为 0.05 μg/kg。

### 1.3 水样及水底沉积物 Pb 含量检测

养殖水样采集后立即检测 pH 并记录,用硝酸将水样 pH 调至 2.0 左右,运回实验室,参照 GB 5749—2006 进行 Pb 含量检测,检出限为 0.002 5 mg/L。参照 GB 15618—

1995 测定水底沉积物 Pb 含量,检出限为 0.005 mg/kg。

### 1.4 统计分析

采用 SPSS 19.0 进行数据统计分析。对于克氏原螯虾和养殖水环境中 Pb 含量属于连续性变量且服从正态性分布,正态分布性资料采用方差分析,计数资料比较进行 $\chi^2$ 检验和 Fisher 确切概率法,非正态分布性资料采用非参数检验,养殖虾与养殖环境 Pb 含量间分别进行连续性变量和二分变量的 Logistic 回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 Pb 检出情况

由表 1 可知,龙虾样本、养殖水和水底沉积物样本中 Pb 含量均是益阳>岳阳>常德。其中益阳克氏原螯虾 Pb 含量超标率最高,为 63%;常德克氏原螯虾 Pb 含量超标率最低,为 20%。养殖水中 Pb 含量超标率均较低,且益阳的最高,常德的最低。水底沉积物 Pb 含量超标率均为 100%,且平均含量较高,其中益阳的最高检出量为  $5.68 \times 10^{-6}$  mg/kg。结果表明:益阳作为湖南省最大的淡水虾养殖基地,无论是虾体内还是养殖环境中的 Pb 含量均较其他地区偏高,可能与其具有悠久的养殖历史及重金属的蓄积性质相关<sup>[10]</sup>;水底沉积物中 Pb 含量最高,而养殖水中 Pb 含量较低,可能是水环境中的底泥对重金属镉和铅具有很强的吸附性<sup>[11]</sup>。

### 2.2 不同地区及养殖环境 Pb 含量比较

试验选择的 3 个采样点中,克氏原螯虾头和养殖水底沉积物的 Pb 检出率均为 100%,养殖水环境检出率较低,为 20%。虾头部、尾部和水底沉积物的 Pb 含量在 3 个地区的分布均有差异( $P < 0.05$ ),尚不能认为 3 个地区养殖场水的 Pb 含量间存在差异( $P = 0.051$ )。由表 2 可知,3 个地区淡水虾头部和尾部的 Pb 含量具有统计学意义( $P < 0.05$ ),其中虾尾的 Pb 含量远低于虾头。不同养殖地区的虾头部、尾部及水底沉积物的 Pb 含量存在地域差异,而养殖水中无差异。研究<sup>[12-13]</sup>表明,底栖类污染超标情况更为严重,可能是虾体与水底沉积物间的相关性更为密切。虾头部与尾部的 Pb 含量也具有差异性,由于虾体内 Pb 主要蓄积在头部,尾部平均含量较低。

### 2.3 克氏原螯虾及其水环境 Pb 含量超标的相关性

由表 3~5 可知,养殖水 Pb 含量超标率与虾体 Pb 含

表 1 小龙虾、养殖水及水底沉积物的 Pb 含量

Table 1 Pb content in crayfish, aquaculture water and sediment in Hunan province

地区	虾(头+尾)/			养殖水/			沉积物/		
	$(\times 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		超标/ %	$(\times 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1})$		超标/ %	$(\times 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		超标/ %
	$\bar{X} \pm s$	Max		$\bar{X} \pm s$	Max		$\bar{X} \pm s$	Max	
常德	13.00±13.57	213.00	20	8.92±1.61	21.80	5	24.70±15.48	42.60	100
岳阳	72.10±33.59	421.00	54	9.10±7.28	32.40	10	96.30±14.38	251.00	100
益阳	163.00±92.40	61.30	63	14.30±21.53	34.30	15	245.00±25.37	568.00	100

表 2 淡水虾头部、尾部及养殖水、水底沉积物 Pb 含量分布<sup>†</sup>

Table 2 Pb content distribution in head, tail, culture water and sediment of freshwater shrimp in Hunan province

地区	虾头/	虾尾/	养殖水/	水底沉积物/
	( $\times 10^{-4}$ mg · kg <sup>-1</sup> )	( $\times 10^{-4}$ mg · kg <sup>-1</sup> )	( $\times 10^{-4}$ mg · L <sup>-1</sup> )	( $\times 10^{-4}$ mg · kg <sup>-1</sup> )
常德	96.22±9.15*	6.83±4.10	8.90±1.61	24.74±15.48
岳阳	64.03±8.79*	8.13±4.70	9.14±7.28	96.31±14.38
益阳	147.02±13.28*	14.34±13.28	14.31±21.53	245.04±25.37
P 值	<0.001	<0.05	0.051	<0.001
检出率/%	100	42	20	100

† \*表示该地区淡水虾头部与尾部的 Pb 含量具有统计学意义(P<0.05)。

表 3 淡水虾养殖水与虾头、尾部 Pb 含量超标情况比较<sup>†</sup>

Table 3 Comparison of Pb over-standard between freshwater shrimp culture water and shrimp head and tail in Hunan province

养殖水	虾头		虾尾	
	超标	未超标	超标	未超标
超标	12	8	18	2
未超标	61	39	50	50
合计	73	47	68	52

†  $\chi^2_{\text{头}} = 40.70, P < 0.0001; \chi^2_{\text{尾}} = 42.00, P < 0.0001$ 。

量超标率间的差异具有统计学意义( $\chi^2_{\text{头}} = 40.70, P < 0.0001; \chi^2_{\text{尾}} = 42.00, P < 0.0001$ )。养殖水底沉积物与虾头部和尾部 Pb 含量超标间无统计学意义( $\chi^2_{\text{头}} = 3.22, P > 0.05; \chi^2_{\text{尾}} = 2.32, P > 0.05$ )。水底沉积物与水体间 Pb 含量分布具有统计学意义(P<0.05),其相关性  $r_{\text{水}} = 0.561$ 。综上,克氏原螯虾 Pb 含量与水底沉积物 Pb 含量超标间无统计学意义且存在一定的正相关,故克氏原螯虾 Pb 含量超标情况可能与水底沉积物 Pb 含量超标情况存在因果关系。

#### 2.4 Pb 含量超标与养殖环境 Pb 含量间的 Logistic 回归分析

以养殖水与水底沉积物 Pb 含量为自变量,淡水虾体内 Pb 含量是否超标为因变量,分别进行逐步 Logistic 回归分析。由表 6 可知,养殖水底沉积物中 Pb 含量是克氏原螯虾 Pb 含量超标的独立危险因素( $OR_{\text{养殖水}} = 1.018, P = 0.049; OR_{\text{沉积物}} = 1.505, P < 0.0001$ )。

将养殖水和水底沉积物 Pb 含量转换为二分类资料,进行二元 Logistic 回归分析。由表 7 可知,养殖水环境中

表 4 淡水虾养殖水底沉积物与虾头部、尾部 Pb 含量比较<sup>†</sup>

Table 4 The content of Pb in sediment of freshwater shrimp culture water in Hunan province was compared with that in shrimp head and tail

水底沉积物	虾头		虾尾	
	超标	未超标	超标	未超标
超标	50	37	40	47
未超标	23	10	28	5
合计	73	47	68	52

†  $\chi^2_{\text{头}} = 3.22, P < 0.05; \chi^2_{\text{尾}} = 2.32, P < 0.05$ 。

表 5 淡水虾养殖水与水底沉积物 Pb 含量比较<sup>†</sup>

Table 5 Comparison of Pb content between freshwater shrimp culture water and bottom sediment in Hunan province

水底沉积物	养殖水	
	超标	未超标
超标	20	67
未超标	0	33
合计	20	100

† Fisher 确切概率法: P<0.005。

Pb 含量超标,淡水虾 Pb 含量超标率增加了 20%;水底沉积物 Pb 含量超标,淡水虾 Pb 含量超标风险增加了 137% ( $OR_{\text{养殖水}} = 1.264, P = 0.026; OR_{\text{沉积物}} = 2.370, P < 0.0001$ )。此外,养殖水环境及水底沉积物交互作用也是淡水虾 Pb 含量超标的独立影响因素( $OR_{\text{交互}} = 1.015, P < 0.0001$ )。因此,水底沉积物 Pb 含量超标是克氏原螯虾

表 6 Pb 污染淡水虾与危险因素养殖水及水底沉积物的逐步 Logistic 回归分析

Table 6 Stepwise Logistic regression analysis of Pb pollution in freshwater shrimp and risk factors in aquaculture water and bottom sediment

变量	X	$\beta$	Sb	P	OR(95% CI)
养殖水	0.001 077	0.037	0.032	0.49	1.018(1.005,1.027)
沉积物	0.068 900	0.580	0.005	<0.000 1	1.505(1.268,1.786)
常量	/	-3.500	0.490	/	0.094

表 7 淡水虾体内 Pb 污染与养殖水及水底沉积物的二元 Logistic 回归分析  
Table 7 Binary Logistic regression analysis on the correlation between Pb pollution in freshwater shrimp and aquaculture water and bottom sediments

超标情况	养殖水 OR(95% CI)	P	水底沉积物 OR(95% CI)	P	养殖水×水底沉积物 OR(95% CI)	P
未超标	1.000		1.000		1.000	
超标	1.264(1.167,1.369)	0.026	2.370(1.860,3.960)	<0.000 1	1.015(1.005,1.025)	<0.000 1

Pb 污染的独立危险因素,且水底沉积物与养殖水体存在交互作用。

### 3 结论

通过检测湖南省淡水虾养殖基地的克氏原螯虾、养殖水和沉积物的 Pb 含量,结果表明:益阳作为湖南省最大的淡水虾养殖基地,无论是虾体内还是养殖环境中的 Pb 含量均较其他地区偏高。而淡水虾体内 Pb 含量分布具有差异性,虾体内 Pb 主要蓄积在头部,尾部平均含量较低;淡水虾生存环境中,虽然养殖水体 Pb 平均含量并不高,但水底沉积物中 Pb 平均浓度均超出国家环境检测标准(GB 2762),而克氏原螯虾 Pb 含量与水底沉积物 Pb 含量存在一定的正相关。试验仅针对湖南省淡水养殖的克氏原螯虾的重金属 Pb 污染情况及其与养殖环境之间的关系,对于淡水养殖的鱼虾类代表性有限。后续将开展淡水养殖其他生物的重金属污染进行相关的研究。

#### 参考文献

- [1] 陆剑锋, 赖年悦, 成永旭. 淡水小龙虾资源的综合利用及其开发价值[J]. 农产品加工: 学刊, 2006, 10(47): 52, 63.
- [2] 吴佳, 纪雄辉, 朱坚, 等. 长株潭地区水环境重金属污染健康风险评价[J]. 湖南农业科学, 2018(1): 64-68.
- [3] 林承奇, 胡恭任, 于瑞莲. 福建九龙江下游潮间带沉积物铅污染

- 及同位素示踪[J]. 中国环境科学, 2015, 35(8): 2 503-2 510.
- [4] 吴春风, 刘弘, 方亚敏, 等. 上海市售克氏原螯虾中铅、镉污染及摄入量调查[J]. 环境与职业医学, 2010, 27(11): 650-656.
- [5] 施婕, 刘茂. 环境铅污染所致儿童健康风险评估方法探讨[J]. 中国工业医学杂志, 2009, 22(1): 31-34.
- [6] 王红梅, 吕世海, 钱岩, 等. 我国环境铅污染健康损害赔偿标准的研究[J]. 职业与健康, 2018, 34(9): 1 280-1 284.
- [7] 贺江, 易梦媛, 郝涛, 等. 小龙虾产品品质影响因素研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 232-236.
- [8] 周涛, 吴晓营, 罗海波, 等. 储藏温度对即食小龙虾品质及微生物菌群多样性的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 141-146.
- [9] 徐思敏, 李招, 王建辉, 等. 湖南省淡水鱼加工产业现状及其发展路径[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 213-216.
- [10] 冯源. 重金属铅离子和镉离子在水环境中的行为研究[J]. 北方环境, 2013, 29(3): 87-93.
- [11] 和庆, 彭自然, 张晨, 等. 长三角地区池塘养殖水产品重金属污染情况及健康风险评估[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(6): 1 070-1 077.
- [12] 林承奇, 胡恭任, 于瑞莲. 福建九龙江下游潮间带沉积物铅污染及同位素示踪[J]. 中国环境科学, 2015, 35(8): 2 503-2 510.
- [13] 许秀艳, 谭丽, 郑晓燕, 等. 环境中铅化学形态分析研究进展[J]. 中国测试, 2015, 41(1): 40-45.

(上接第 83 页)

- [2] 石为人, 梁山, 谢昭莉, 等. 酒蒸馏操作过程特征知识的抽取[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 1998, 21(4): 117-122.
- [3] 赖登, 林东. 世界著名六大蒸馏酒工艺特点、香味特征的研究[J]. 酿酒, 2007(3): 106-110.
- [4] 杨一帆. 酿酒装甾过程智能检测与控制系统开发[D]. 沈阳: 东北大学, 2017: 23-25.
- [5] 张家双. 一种新型上甄机器人的设计和分析[D]. 天津: 天津理工大学, 2017: 24-25.
- [6] 李雷辉, 汪日伟, 温显斌. 基于红外视觉的智能装甾系统的撒料区域的高效检测算法设计[J]. 天津理工大学学报, 2018, 34(6): 49-53.
- [7] 王新宇. 基于红外图像处理的钢水测温方法研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2016: 6-8.
- [8] 李静, 高晓蓉, 杨凯. 基于 HOG 特征及 SVM 的机车车底螺栓检测方法[J]. 信息技术, 2016(3): 125-127, 135.
- [9] 宋小燕, 白福忠, 武建新, 等. 应用灰度直方图特征识别木材表面节子缺陷[J]. 激光与光电子学进展, 2015, 52(3): 205-210.

- [10] 周志华. 机器学习[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016: 121-126.
- [11] 赵志勇. Python 机器学习算法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017: 63-67.
- [12] 王春普, 文怀兴, 王俊杰. 基于机器视觉的大枣表面缺陷检测[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 168-171.
- [13] 邱光应, 彭桂兰, 陶丹, 等. 基于决策树支持向量机的苹果表面缺陷识别[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 131-135.
- [14] 周杰. 非线性相关滤波器组和稀疏表示的人脸识别算法研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2018: 19-21.
- [15] 刘静, 管晓, 易翠平. 近红外光谱技术结合支持向量机对食用醋品牌溯源的研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 38-40.
- [16] 田流芳. 基于中值滤波和小波变换的图像去噪算法研究[D]. 保定: 河北大学, 2014: 14-16.
- [17] 代少升, 徐洪, 刘琴, 等. 基于人眼视觉特性的红外图像增强算法[J]. 半导体光电, 2016, 37(1): 115-118.
- [18] 殷廷家, 杨正伟, 国婷婷, 等. 基于伏安电子舌的枸杞产地快速辨识[J]. 食品与机械, 2019, 35(5): 116-122.