

附件 2

# 淡水水生生物水质基准技术报告—镉

(2020 年版)

2020 年 2 月

## 声 明

国家生态环境基准是基于环境因子与特定对象之间的剂量—效应（反应）关系，结合我国生态环境特点做出的科学判断，不考虑社会、经济及技术等方面因素，不具有法律强制力，可作为制修订生态环境质量标准、评估生态环境风险以及进行生态环境管理的科学依据。随着科学研究的不断发展和深入，国家生态环境基准也将适时修订和更新。

国家生态环境基准由生态环境部负责组织制定。

## 前 言

生态环境基准是在特定条件和用途下，环境因子（污染物质或有害要素）对人群健康与生态系统不产生有害效应的最大剂量或水平。生态环境基准研究以环境暴露、毒性效应与风险评估为核心，揭示环境因子对人群健康和生态安全影响的客观规律，研究结果不仅是制订生态环境质量标准的理论基础和科学依据，也是构建国家生态环境风险防范体系的重要基石。从揭示客观规律看，生态环境基准具有普适性，但自然地理和生态系统构成等方面的差异，也会使这种客观规律呈现一定的地域特殊性，需要各国乃至各地区根据实际情况开展针对性研究。

环境基准研究始于 19 世纪末，发达国家相关工作开展较早，现已形成了相对完整的环境基准体系，为环境标准的制定和颁布奠定了科学基础。我国相关工作起步晚，虽然围绕生态环境基准陆续设立了一系列科研项目，但基础薄弱、任务部署零散、体系不强、研究方法不统一，成果产出距离满足生态环境管理工作的实际需要还存在一定差距。随着生态文明建设的不断深化及其对生态环境服务功能要求的不断提高，研究制定符合我国生态环境特征的生态环境基准，对于制定更加科学、合理、有效的生态环境质量标准的重要意义日益凸显。

《中华人民共和国环境保护法》第15条提出：“国家鼓励开展环境基准研究”。作为生态环境管理的重要组成部分，生态环境基准工作在法律层面得以明确，为建立健全国家生态环境基准体系、推动生态环境基准工作健康发展提供了制度保障。2017年，生态环境部（原环境保护部）发布了《国家环境基准管理办法（试行）》（公告2017年第14号）。在充分吸收国内外最新研究成果的基础上，结合我国区域特征和生态环境管理需要，生态环境部从制定水质生态环境基准入手进行探索和实践，于2017年开始陆续发布国家生态环境基准制定技术指南，规范我国生态环境基准制定程序、技术和方法。

《淡水水生生物水质基准—镉》（2020年版）是我国首个生态环境基准。根据《国家环境基准管理办法（试行）》，为阐述生态环境基准制定的具体方法和过程，生态环境基准发布时需编制技术报告作为附件。《淡水水生生物水质基准技术报告—镉》（2020年版）分为六章和两附录：第一章概述了基准制定的基本情况；第二章介绍了国内外相关基准的研究进展；第三章介绍了镉及其化合物的理化性质和毒性效应；第四章介绍了基准制定所需文献和数据的筛选方法与结果；第五章介绍了基准的推导方法和推导结果；第六章为基准审核情况；附录A以列表方式提供了镉对淡水水生生物的急性毒性数据；附录B以列表方式提供了镉对淡水水生生物的慢性毒性数据。

《淡水水生生物水质基准—镉》（2020年版）、《淡水水生生物水质基准技术报告—镉》（2020年版）由生态环境部法规与标准司组织制定，中国环境科学研究院依据《淡水水生生物水质基准制定技术指南》（HJ 831—2017）起草。

## 缩略语说明

序号	缩略语	中文名称	英文名称	单位
1	ATV	急性毒性值	Acute Toxicity Value	μg/L
2	CTV	慢性毒性值	Chronic Toxicity Value	μg/L
3	EC <sub>50</sub>	半数效应浓度	50% of Effective Concentration	μg/L
4	ECOTOX	生态毒性数据库	Ecotoxicology Database	-
5	GLP	良好实验室规范	Good Laboratory Practice	-
6	HC <sub>x</sub>	x%物种危害浓度	Hazardous Concentration for x% of Species	μg/L
7	IC <sub>50</sub>	半数抑制效应浓度	50% of Inhibitory Concentration	μg/L
8	LC <sub>50</sub>	半数致死浓度	50% of Lethal Concentration	μg/L
9	LOEC	最低观察效应浓度	Lowest Observed Effect Concentration	μg/L
10	LOEL	最低观察效应水平	Lowest Observed Effect Level	μg/L
11	LWQC	长期水质基准	Long-term Water Quality Criteria	μg/L
12	MATC	最大允许浓度	Maximum Acceptable Toxicant Concentration	μg/L
13	NOEC	无观察效应浓度	No Observed Effect Concentration	μg/L
14	NOEL	无观察效应水平	No Observed Effect Level	μg/L
15	PAN	农药行动网络	Pesticide Action Network	-
16	SMAV	种平均急性值	Species Mean Acute Value	μg/L
17	SMCV	种平均慢性值	Species Mean Chronic Value	μg/L
18	SSD	物种敏感度分布	Species Sensitivity Distribution	-
19	SWQC	短期水质基准	Short-term Water Quality Criteria	μg/L
20	WOS	科学引文索引数据库	Web of Science	-

# 目 录

1 概述 .....	9
2 国内外研究进展 .....	9
3 镉及其化合物的环境问题 .....	11
3.1 理化性质 .....	11
3.2 镉对淡水水生生物的毒性 .....	11
3.2.1 急性毒性 .....	11
3.2.2 慢性毒性 .....	12
3.3 水质参数对镉毒性的影响 .....	12
4 资料检索和数据筛选 .....	12
4.1 数据需求 .....	12
4.2 资料检索 .....	13
4.3 数据筛选 .....	14
4.3.1 筛选方法 .....	14
4.3.2 筛选结果 .....	15
5 基准推导 .....	17
5.1 推导方法 .....	17
5.1.1 水体硬度校正 .....	17
5.1.2 种平均急/慢性值计算 .....	18
5.1.3 毒性数据分布检验 .....	18
5.1.4 累积频率计算 .....	19
5.1.5 模型拟合与评价 .....	19
5.1.6 基准的确定 .....	19
5.1.7 结果表达 .....	19
5.2 推导结果 .....	19
5.2.1 短期水质基准 .....	19
5.2.2 长期水质基准 .....	27
6 基准审核 .....	32
参考文献 .....	34
附录 A 镉对淡水水生生物的急性毒性数据 .....	43
附录 B 镉对淡水水生生物的慢性毒性数据 .....	57

## 1 概述

镉具有高毒性、易解离、易残留等特点，达到一定浓度后会对水生生物及生态系统产生有害影响。许多国家和国际组织（国际标准化组织、欧洲标准化委员会、美国国家标准学会等）将其纳入水体基本监测指标，也是我国地表水环境质量标准等水质标准的控制项目。《淡水水生生物水质基准—镉》（2020年版）依据《淡水水生生物水质基准制定技术指南》（HJ 831—2017）制定，反映现阶段地表水环境中镉对95%的中国淡水水生生物及其生态功能不产生有害效应的最大浓度，可为制修订相关水生态环境质量标准、预防和控制镉对水生生物及生态系统的危害提供科学依据。

基准推导过程中，共纳入1137篇中英文文献和7907条毒性数据库数据，经质量评价后344条数据为可靠数据，涉及65种淡水水生生物，基本代表了我国淡水水生生物区系特征，涵盖了草鱼、鳊鱼等我国淡水水生生物优势种。在对急性毒性值（ATV）和慢性毒性值（CTV）进行水体硬度校正后，基于物种敏感度分布法，推导出镉的短期水质基准（SWQC）和长期水质基准（LWQC），用总镉浓度表示，单位为 $\mu\text{g/L}$ ，基准值保留2位有效数字。

## 2 国内外研究进展

表1对比了国内外镉环境水质基准研究进展状况。美国是较早开始水质基准研究的国家，于1980年发布了单独成册的国家镉环境水质基准文件，并根据最新科学研究进展分别于1985年、1995年、2001年和2016年进行了4次修订。继美国之后，加拿大、澳大利亚先后发布了国家镉环境水质基准。我国镉环境水质基准研究始于20世纪末，虽然起步较晚，但进展较快，在借鉴、引用发达国家水质基准理论方法的基础上，有所创新和突破<sup>[1-4]</sup>，于2020年首次发布淡水水生生物镉水质基准（表2）。

由于水质基准推导方法、物种使用的差异，不同国家甚至同一国家在不同时期制定的镉水质基准也存在较大差异（表2）。例如：美国1980年发布淡水水生生物镉水质基准时，短期水质基准推导纳入了29个物种的急性毒性数据，长期水质基准推导纳入了13个物种的慢性毒性数据，鲤鱼急性毒性数据只有1条；在2016年进行镉水质基准更新时，短期水质基准推导纳入了101个物种的急性毒性数据，长期水质基准推导纳入了27个物种的慢性毒性数据，鲤鱼急性毒性数据增加至7条。在条件允许的情况下，各国、各地区应根据本国或本地区生态环境特点开展基准相关研究，制定水质基准<sup>[5]</sup>。

表1 国内外镉环境水质基准研究进展

	发达国家	中国
基准推导方法	主要包括评价因子法、物种敏感度分布法、毒性百分数排序法	对评价因子法、物种敏感度分布法、毒性百分数排序法均进行了研究，并在HJ 831—2017中确定使用物种敏感度分布法
物种来源	本土物种、引进物种、国际通用物种	本土物种、国际通用且在中国水体中广泛分布的物种、引进物种

物种选择	基于不同国家生物区系的差异，各个国家物种选择要求不同。例如：美国要求物种不少于3门8科；加拿大要求3种及以上鱼类、3种及以上水生或半水生无脊椎动物	依据HJ 831—2017，基准推导至少需要5个淡水水生生物物种，覆盖三个营养级
毒性测试方法	参照采用国际标准化组织、经济合作与发展组织等规定的水生生物毒性测试方法；部分发达国家采用本国制订的水生生物毒性测试方法	参照采用国际标准化组织、经济合作与发展组织等规定的水生生物毒性测试方法；采用国家标准方法
相关毒性数据库	生态毒性数据库（ECOTOX） （ <a href="http://cfpub.epa.gov/ecotox/">http://cfpub.epa.gov/ecotox/</a> ） PAN农药数据库（北美） （ <a href="http://www.pesticideinfo.org/">http://www.pesticideinfo.org/</a> ）	无

表 2 淡水水生生物镉水质基准

国家	制修订时间	SWQC (μg/L)	LWQC (μg/L)	水体硬度 (以 CaCO <sub>3</sub> 计, mg/L)	物种数 (个)		推导方法	发布部门
					SWQC	LWQC		
美国	1980 年	1.5	0.012	50	29	13	毒性百分数排序法	美国环境保护局
		3.0	0.025	100				
		6.3	0.051	200				
	1985 年	1.8	0.66	50	52	16		
		3.9	1.1	100				
		8.6	2.0	200				
	1995 年	2.067	1.4286	50	不详	不详		
2001 年	2.0	0.25	100	65	21			
2016 年	1.8	0.72	100	101	27			
加拿大	1996 年	-	0.018	50	不详	不详	评价因子法	加拿大环境部长理事会
	2014 年	1.2	0.10	60	62	36	物种敏感度分布法	
		2.2	0.18	120				
2014 年	3.8	0.26	180					
澳大利亚和新西兰	2000 年	-	0.2	30	不详	不详	物种敏感度分布法	澳大利亚和新西兰环境保护委员会、农业与资源管理委员会
中国	2020 年	2.1	0.15	50	57	23	物种敏感度分布法	中华人民共和国生态环境部
		4.2	0.23	100				
		6.5	0.29	150				
		8.7	0.35	200				
		11	0.39	250				
		13	0.44	300				
		16	0.48	350				
		20	0.55	450				

### 3 镉及其化合物的环境问题

#### 3.1 理化性质

镉，元素符号Cd，为银白色、有光泽的过渡金属，第48号元素，元素周期表中位于第五周期IIB族，镉及其部分化合物的理化性质见表3。

环境中镉的来源分为自然源和人为源。自然源包括岩石土壤侵蚀、火山爆发和森林火灾等；人为源包括采矿、农耕、城市活动、企业排污、化石燃料燃烧等。

在淡水水体中，水溶态二价镉离子是镉最主要的存在形式，目前研究尚难明确含镉有机化合物中镉对淡水水生生物的剂量—效应关系，因此本报告中镉的化合物均为水溶态二价无机镉盐，主要涉及氯化镉、硝酸镉、硫酸镉。

表3 镉及其化合物的理化性质

镉及其化合物	单质镉	氯化镉	硝酸镉	硫酸镉
分子式	Cd	CdCl <sub>2</sub>	Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CdSO <sub>4</sub>
CAS 号	7440-43-9	10108-64-2	10325-94-7	10124-36-4
EINECS 号	231-152-8	233-296-7	233-710-6	233-331-6
UN 编号	-	2570	51522	-
熔点 °C	321	568	-	1000
沸点 °C	765	-	-	-
溶解性	不溶于水	易溶于水	溶于水	溶于水
用途	镉盐、烟幕弹、颜料、镉汞剂等	镉电池、陶瓷釉彩、印染助剂、光学镜增光剂等	催化剂、镉电池、含镉药剂及分析试剂等	镉电池、电子产品、消毒剂等

#### 3.2 镉对淡水水生生物的毒性

##### 3.2.1 急性毒性

基于急性毒性效应测试终点不同，ATV 包括半数致死浓度 (LC<sub>50</sub>)、半数效应浓度 (EC<sub>50</sub>) 和半数抑制效应浓度 (IC<sub>50</sub>)。

本基准进行水体硬度校正和种平均急性值 (SMAV) 计算时，以 LC<sub>50</sub> 和基于水生生物活动抑制效应的 EC<sub>50</sub> 作为 ATV，求急性毒性—水体硬度斜率 (公式 1) 和 SMAV (公式 5)，基于以下考虑：

1) 数据检索未见镉对水生生物的 IC<sub>50</sub> 值；

2) EC<sub>50</sub> 包括活动抑制效应、繁殖效应、酶活性抑制等多种毒性效应测试终点，在天然水生态环境中，水生生物活动抑制、掠食困难极易引起生物死亡，因此使用基于水生生物活动抑制效应的 EC<sub>50</sub>；

3) 在同一物种下，若同时存在 LC<sub>50</sub> 和基于水生生物活动抑制效应的 EC<sub>50</sub>，则全部使用。



### 3.2.2 慢性毒性

基于慢性毒性效应测试终点不同，CTV 包括无观察效应浓度（NOEC）、最低观察效应浓度（LOEC）、无观察效应水平（NOEL）、最低观察效应水平（LOEL）和最大允许浓度（MATC）。MATC 是 NOEC 和 LOEC（或 NOEL 和 LOEL）的几何平均值。

本基准进行水体硬度校正和种平均慢性值（SMCV）计算时，以基于生长和生殖毒性效应的 NOEC、LOEC、NOEL、LOEL、MATC 作为 CTV，求慢性毒性—水体硬度斜率（公式 2）和 SMCV（公式 6），基于以下考虑：

1) 在水生生物致毒过程中，一般认为低污染物浓度时先出现生长和生殖毒性，污染物浓度进一步增加引起活动抑制和致死，为充分保护水生生物及其生态功能，优先使用基于生长和生殖毒性效应的毒性数据作为 CTV；

2) 同一物种，若同时存在基于生长和生殖毒性效应的 NOEC、LOEC、NOEL、LOEL，则全部使用；同一物种、同一实验中若同时存在基于生长和生殖毒性效应的 NOEC 和 LOEC、NOEL 和 LOEL，则计算 MATC；

3) 生命周期较短的水生生物，将暴露时间小于 21 天但超过一个世代的  $EC_{50}$  值作为 CTV。

### 3.3 水质参数对镉毒性的影响

水质参数包括硬度、酸碱度、盐度、有机碳等，是影响镉毒性和水质基准的重要因素。研究显示，酸碱度、盐度和有机碳等水质参数对镉的毒性影响较弱；水体硬度对镉的毒性影响较大，二价镉离子和钙离子可以作用于相似的靶点，产生拮抗作用，随着水体硬度的增加，镉对水生生物毒性作用显著降低。

地表水水体硬度未纳入我国地表水水质监测。参考第三次全国地表水水质评价结果<sup>[6]</sup>，我国地表水水体硬度 <150 mg/L、150 mg/L ~ <300 mg/L、300 mg/L ~ <450 mg/L、>450 mg/L 的水面积占我国地表水总面积的比例分别为 42%、34%、11%、13%。

本次基准推导将水体硬度（以  $CaCO_3$  计）分为 50 mg/L、100 mg/L、150 mg/L、200 mg/L、250 mg/L、300 mg/L、350 mg/L、450 mg/L 八个等级，分别计算镉对淡水水生生物的 SWQC 及 LWQC。

## 4 资料检索和数据筛选

### 4.1 数据需求

本次基准推导所需数据类别包括化合物类型、物种类型、毒性数据、水体硬度等，各类数据关注指标见表 4。

表 4 毒性数据检索要求

数据类别	关注指标
化合物	氯化镉、硝酸镉、硫酸镉
物种类型	中国本土物种、国际通用且在中国水体中广泛分布的物种、引进物种
物种名称	中文名称、拉丁文名称
实验物种 生命阶段	幼体、成体等
暴露方式	流水暴露、半静态暴露、静态暴露
暴露时间	以天或小时计
ATV	LC <sub>50</sub> 、EC <sub>50</sub> 、IC <sub>50</sub>
CTV	NOEC、LOEC、NOEL、LOEL、MATC
毒性效应	致死效应、生殖毒性效应、活动抑制效应等
水体硬度	硬度值；钙、镁离子浓度

## 4.2 资料检索

本次基准推导使用的数据主要来自英文毒性数据库和中英文文献数据库。英文毒性数据库和中英文文献数据库纳入和剔除原则见表 5。完成毒性数据库和文献数据库筛选后，进行镉毒性数据检索，检索方案见表 6，检索结果见表 7。

表 5 数据库纳入和剔除原则

数据库类型	纳入条件	剔除原则	符合条件的数据库名称
毒性数据库	1) 包含表 4 列出的数据类别和关注指标； 2) 数据条目可溯源，包括题目、作者、期刊名、期刊号等信息	1) 剔除不包含毒性测试方法的数据库； 2) 剔除不包含毒性实验暴露时间的数据库； 3) 剔除不包含实验用水硬度值，且无法根据给定条件计算出水体硬度值的数据库	1) ECOTOX； 2) PAN 农药数据库（北美）
文献数据库	1) 包含表 4 列出的数据类别和关注指标； 2) 包含中文核心期刊或科学引文索引核心期刊； 3) 包含属于原创性的研究报告	1) 剔除综述性论文数据库； 2) 剔除理论方法学论文数据库	1) 中国知识基础设施工程； 2) 万方知识服务平台； 3) 维普网； 4) WOS

表 6 毒性数据和文献检索方案

	数据库名称	检索时间	检索式	
			急性毒性	慢性毒性
毒性数据	ECOTOX	截至 2019 年 8 月 31 日之前数据库覆盖年限	化合物名称: Cadmium; 暴露介质: Freshwater; 毒性效应测试终点: EC <sub>50</sub> 或 LC <sub>50</sub> 或 IC <sub>50</sub>	化合物名称: Cadmium; 暴露介质: Freshwater; 毒性效应测试终点: NOEC 或 LOEC 或 NOEL 或 LOEL 或 MATC

	PAN 农药数据库 (北美)	截至 2019 年 8 月 31 日之前数据库覆盖年限	化合物名称: Cadmium 或 Cadmium chloride 或 Cadmium sulfate 或 Cadmium sulphate 或 Cadmium Nitrate	化合物名称: Cadmium 或 Cadmium chloride 或 Cadmium sulfate 或 Cadmium sulphate 或 Cadmium Nitrate
文献检索	中国知识基础设施工程; 万方知识服务平台; 维普网	截至 2019 年 8 月 31 日之前数据库覆盖年限	题名: 镉或 Cd; 主题: 毒性; 期刊来源类别: 核心期刊	题名: 镉或 Cd; 主题: 毒性; 期刊来源类别: 核心期刊
	WOS	截至 2019 年 8 月 31 日之前数据库覆盖年限	题名: Cadmium; 主题: EC <sub>50</sub> 或 LC <sub>50</sub> 或 IC <sub>50</sub>	题名: Cadmium; 主题: NOEC 或 LOEC 或 NOEL 或 LOEL 或 MATC

表 7 毒性数据和文献检索结果

数据库类型	数据类型	数据和文献量	合计
毒性数据库	急性毒性	3964 条	7907 条
	慢性毒性	3943 条	
文献数据库	急性毒性	1075 篇	1137 篇
	慢性毒性	62 篇	

### 4.3 数据筛选

#### 4.3.1 筛选方法

依据 HJ 831—2017 对检索获得的数据 (表 7) 进行筛选, 筛选方法见表 8。数据筛选时, 采用两组研究人员独立完成上述毒性数据库的数据筛选及中英文文献数据的提取和筛选, 若两组研究人员对数据存在歧义, 则提交编制组统一讨论或组织专家咨询后决策。

表 8 数据筛选方法

	筛选原则
物种筛选	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 中国本土物种依据《中国动物志》<sup>[7]</sup>《中国大百科全书》<sup>[8]</sup>《中国生物物种名录》<sup>[9]</sup>和 HJ 831—2017 附录 C 进行筛选;</li> <li>2) 国际通用且在中国水体中广泛分布的物种依据 HJ 831—2017 附录 B 进行筛选;</li> <li>3) 引进物种依据《中国外来入侵生物》<sup>[10]</sup>进行筛选</li> </ol>
毒性数据筛选	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 纳入受试物种在适宜生长条件下测得的毒性数据, 剔除溶解氧、总有机碳含量不符合要求的数据;</li> <li>2) 纳入实验用水为标准稀释水的毒性数据, 剔除使用蒸馏水或去离子水获得的毒性数据;</li> <li>3) 剔除未设置对照组实验的毒性数据, 剔除对照组 (含空白对照组、助溶剂对照组) 物种出现胁迫、疾病和死亡的比例超过 10% 的数据;</li> <li>4) 优先采用流水式实验获得的毒性数据, 其次采用半静态或静态式实验获得的毒性数据;</li> <li>5) 剔除以单细胞动物作为受试物种的实验数据;</li> <li>6) 同一物种的同一毒性效应测试终点实验数据相差 10 倍以上时, 应剔除离群值</li> </ol>
暴露时间	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 急性毒性: 暴露时间大于等于 1 天且小于等于 4 天;</li> <li>2) 慢性毒性: 暴露时间大于等于 21 天; 实验暴露时间至少跨越一个世代或生命敏感阶段</li> </ol>
毒性效应测试终点	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 急性毒性: LC<sub>50</sub>、基于活动抑制效应的 EC<sub>50</sub>、IC<sub>50</sub>;</li> <li>2) 慢性毒性: 基于生长和繁殖为毒性效应测试终点的 NOEC、LOEC、NOEL、LOEL、MATC</li> </ol>
水体硬度值	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 硬度值;</li> <li>2) 钙、镁离子浓度</li> </ol>

### 4.3.2 筛选结果

依据表8所示数据筛选方法对检索所得数据进行筛选，共获得数据807条，筛选结果见表9。经可靠性评价，共有344条数据可用于基准推导（表10），其中：急性毒性数据277条，慢性毒性数据67条。用于基准推导的344条数据共涉及65个物种（表11），其中：中国本土物种42个、国际通用且在中国水体中广泛分布的物种7个、引进物种16个，包括了在中国水体中广泛分布的草鱼、鳙鱼等物种。表12、表13分别列出了用于SWQC和LWQC推导涉及的物种及其对应毒性数据量的分布情况。生命周期较短的小球藻等4种水生植物，将暴露时间超过一个世代的EC<sub>50</sub>值作为慢性毒性值，用于LWQC制定。

表9 数据筛选结果

数据库	毒性数据类型	总数据量(条)	剔除数据(条)						剩余数据(条)
			重复	无关	无水体硬度	暴露时间不符	化合物不符	物种不符	
毒性数据库	ATV	3964	19	523	1680	382	165	576	619
	CTV	3943	183	413	2018	960	182	137	50
中文文献数据库	ATV	542	0	440	75	11	0	0	16
	CTV	7	0	1	0	0	0	0	6
英文文献数据库	ATV	640	16	169	220	87	8	44	96
	CTV	62	16	9	0	0	0	17	20
合计		9158	234	1555	3993	1440	355	774	807

表10 数据可靠性评价及分布

数据可靠性	评价原则	毒性数据(条)		合计(条)
		急性	慢性	
无限制可靠	数据来自良好实验室规范(GLP)体系,或数据产生过程符合实验准则(参照HJ 831—2017相关要求)	0	4	4
限制可靠	数据产生过程不完全符合实验准则,但发表在核心期刊或有充足的证据证明数据可用	277	63	340
不可靠	数据产生过程与实验准则有冲突或矛盾,没有充足证据证明数据可用,实验过程不能令人信服或不被同行评议专家接受	174	3	177
不确定	没有提供足够的实验细节,无法判断数据可靠性	280	6	286
合计		731	76	807

表11 可靠性数据涉及的物种分布

数据类型	物种类型	物种数量(种)	物种名称	合计(种)
急性毒性	本土物种	38	1.草鱼; 2.大鳞大马哈鱼; 3.短尾秀体蚤; 4.端足类钩虾; 5.多刺裸腹蚤; 6.蓴花臂尾轮虫; 7.俄勒冈叶唇鱼; 8.光滑爪蟾; 9.褐水螅; 10.霍甫水丝蚓; 11.鲫鱼; 12.棘爪网纹蚤; 13.夹杂带丝蚓; 14.静水椎实螺; 15.锯顶低额蚤; 16.鲤鱼; 17.孔雀胎鳞; 18.老年低额蚤; 19.绿水	57

			螳；20.绿太阳鱼；21.麦穗鱼；22.普通水螳；23.三角帆蚌；24.苏氏尾鳃蚓；25.唐鱼；26.无鳞甲三刺鱼；27.无褶螺；28.仙女虫；29.亚东鱧；30.摇蚊幼虫；31.鳊鱼；32.原螯虾；33.圆形盘肠溇；34.蚤状钩虾；35.蚤状溇；36.正颤蚓；37.中华大蟾蜍；38.中华新米虾	
	国际通用且在中国水体中广泛分布的物种	6	1.斑马鱼；2.大型溇；3.浮萍；4.黑头软口鲮；5.模糊网纹溇；6.青鳉	
	引进物种	13	1.澳洲淡水龙虾；2.虹鳟；3.克氏原螯虾；4.蓝鳃太阳鲈；5.麦瑞加拉鲮鱼；6.美洲鳊；7.莫桑比克罗非鱼；8.尼罗罗非鱼；9.食蚊鱼；10.条纹狼鲈；11.银鲑；12.美洲红点鲑；13.斑点叉尾鲷	
慢性毒性	本土物种	9	1.大鳞大马哈鱼；2.尖头栅藻；3.鲤鱼；4.莱茵衣藻；5.蜻蜓幼虫；6.无褶螺；7.亚东鱧；8.小球藻；9.蚤状溇	23
	国际通用且在中国水体中广泛分布的物种	5	1.大型溇；2.黑头软口鲮；3.近头状伪蹄形藻；4.模糊网纹溇；5.青鳉	
	引进物种	9	1.奥利亚罗非鱼；2.白斑狗鱼；3.大西洋鲑；4.虹鳟；5.蓝鳃太阳鲈；6.麦瑞加拉鲮鱼；7.尼罗罗非鱼；8.银鲑；9.美洲红点鲑	

表 12 短期水质基准推导涉及的物种及毒性数据分布

序号	物种名称	毒性数据(条)	物种类型	序号	物种名称	毒性数据(条)	物种类型
1	亚东鱧	13	本土物种	30	蚤状钩虾	2	本土物种
2	苏氏尾鳃蚓	10		31	唐鱼	2	
3	孔雀胎鳊	9		32	无鳞甲三刺鱼	2	
4	锯顶低额溇	9		33	无褶螺	2	
5	蚤状溇	9		34	原螯虾	2	
6	鲤鱼	8		35	萼花臂尾轮虫	1	
7	绿太阳鱼	7		36	褐水螳	1	
8	大鳞大马哈鱼	6		37	麦穗鱼	1	
9	端足类钩虾	6		38	中华大蟾蜍	1	
10	棘爪网纹溇	6		39	黑头软口鲮	11	
11	圆形盘肠溇	6		40	模糊网纹溇	8	
12	正颤蚓	6		41	大型溇	6	
13	草鱼	5		42	斑马鱼	5	
14	多刺裸腹溇	5		43	青鳉	2	
15	夹杂带丝蚓	5		44	浮萍	1	
16	普通水螳	5		45	美洲红点鲑	13	
17	仙女虫	5		46	蓝鳃太阳鲈	16	
18	俄勒冈叶唇鱼	4		47	虹鳟	7	
19	光滑爪蟾	4		48	斑点叉尾鲷	5	
20	霍甫水丝蚓	4		49	克氏原螯虾	5	

21	鲫鱼	4	本土物种	50	食蚊鱼	5	引进物种
22	摇蚊幼虫	4		51	银鲑	5	
23	中华新米虾	4		52	澳洲淡水龙虾	3	
24	静水椎实螺	3		53	美洲鳗鲡	3	
25	三角帆蚌	3		54	条纹狼鲈	3	
26	鳙鱼	3		55	麦瑞加拉鲮鱼	2	
27	短尾秀体溇	2		56	莫桑比克罗非鱼	2	
28	老年低额溇	2		57	尼罗罗非鱼	2	
29	绿水螳	2					

表 13 长期水质基准推导涉及的物种及毒性数据分布

序号	物种名称	毒性数据 (条)	物种类型	序号	物种名称	毒性数据 (条)	物种类型	
1	亚东鱧	7	本土物种	13	近头状伪蹄形藻	1	国际通用且在中国水体中广泛分布的物种	
2	大鳞大马哈鱼	2		14	青鳉	1		
3	蚤状溇	2		15	虹鳉	17		
4	无褶螺	2		16	美洲红点鲑	4		
5	莱茵衣藻	1		17	蓝鳃太阳鲈	3		
6	鲤鱼	1		18	麦瑞加拉鲮鱼	2		
7	尖头栅藻	1		19	尼罗罗非鱼	2		引进物种
8	蜻蜓幼虫	1		20	奥利亚罗非鱼	1		
9	小球藻	1		21	白斑狗鱼	1		
10	模糊网纹溇	7		22	大西洋鲑	1		
11	大型溇	5	国际通用且在中国水体中广泛分布的物种	23	银鲑	1		
12	黑头软口鲦	3						

## 5 基准推导

### 5.1 推导方法

#### 5.1.1 水体硬度校正

水体硬度校正分为毒性—水体硬度斜率拟合和水体硬度校正毒性值计算两个步骤，其中：毒性—水体硬度斜率拟合见公式 1 和公式 2；水体硬度校正毒性值计算见公式 3 和公式 4。

$$\lg(ATV) = K_A \lg(H_A) + C_A \quad (1)$$

$$\lg(CTV) = K_C \lg(H_C) + C_C \quad (2)$$

$$ATV_H = 10^{K_A \times \lg(H) + \lg(ATV) - K_A \times \lg(H_A)} \quad (3)$$

$$CTV_H = 10^{K_C \times \lg(H) + \lg(CTV) - K_C \times \lg(H_C)} \quad (4)$$

式中：ATV—水体硬度校正前急性毒性值，计算时不区分 LC<sub>50</sub> 和 EC<sub>50</sub>，见附录 A，μg/L；

CTV—水体硬度校正前慢性毒性值，计算时不区分 NOEC、LOEC、NOEL、LOEL 和 MATC，见附录 B，μg/L；

ATV<sub>H</sub>—水体硬度校正后急性毒性值，μg/L；

CTV<sub>H</sub>—水体硬度校正后慢性毒性值，μg/L；

K<sub>A</sub>—急性毒性—水体硬度斜率，无量纲；

K<sub>C</sub>—慢性毒性—水体硬度斜率，无量纲；

H<sub>A</sub>—水体硬度校正前 ATV 对应水体硬度值，见附录 A，mg/L；

H<sub>C</sub>—水体硬度校正前 CTV 对应水体硬度值，见附录 B，mg/L；

C<sub>A</sub>—急性毒性常数，为截距，无量纲；

C<sub>C</sub>—慢性毒性常数，为截距，无量纲；

H—水体硬度值（以 CaCO<sub>3</sub> 计），取值分别为 50 mg/L，100 mg/L，150 mg/L，200 mg/L，250 mg/L，300 mg/L，350 mg/L，450 mg/L。

### 5.1.2 种平均急/慢性值计算

依据公式 5、公式 6，在指定水体硬度条件下，分物种计算 SMAV 和 SMCV。

$$SMAV_{H,i} = \sqrt[m]{(ATV_H)_{i,1} \times (ATV_H)_{i,2} \times \dots \times (ATV_H)_{i,m}} \quad (5)$$

$$SMCV_{H,i} = \sqrt[n]{(CTV_H)_{i,1} \times (CTV_H)_{i,2} \times \dots \times (CTV_H)_{i,n}} \quad (6)$$

式中：SMAV<sub>H,i</sub>—指定水体硬度 H 下物种 i 的种平均急性值，μg/L；

SMCV<sub>H,i</sub>—指定水体硬度 H 下物种 i 的种平均慢性值，μg/L；

ATV<sub>H</sub>—水体硬度校正后急性毒性值，μg/L；

CTV<sub>H</sub>—水体硬度校正后慢性毒性值，μg/L；

m—物种 i 的 ATV<sub>H</sub> 个数，个；

n—物种 i 的 CTV<sub>H</sub> 个数，个；

i—某一物种，无量纲；

H—水体硬度值（以 CaCO<sub>3</sub> 计），取值分别为 50 mg/L，100 mg/L，150 mg/L，200 mg/L，250 mg/L，300 mg/L，350 mg/L，450 mg/L。

### 5.1.3 毒性数据分布检验

在指定水体硬度下，对 SMAV<sub>H,i</sub> 和 SMCV<sub>H,i</sub> 分别进行正态分布检验（K-S 检验），若不符合正态分布，需进行对数转换后重新检验。符合正态分布的数据方能按照“5.1.5 模型拟合与评价”要求进行物种敏感度分布（SSD）模型拟合。

### 5.1.4 累积频率计算

将物种  $\text{SMAV}_{\text{H},i}$  /  $\text{SMCV}_{\text{H},i}$  或其对数值分别从小到大进行排序，确定其毒性秩次  $R$ （最小毒性值的秩次为 1，次之秩次为 2，依次排列，如果有两个或两个以上物种的毒性值相同，则将其任意排成连续秩次，每个秩次下物种数为 1），依据公式 7 分别计算物种的累积频率  $F_R$ 。

$$F_R = \frac{\sum_{i=1}^R f}{\sum f + 1} \times 100\% \quad (7)$$

式中： $F_R$ —累积频率，%；

$f$ —频数，指毒性值秩次  $R$  对应的物种数，个。

### 5.1.5 模型拟合与评价

$\text{SMAV}_{\text{H},i}$  /  $\text{SMCV}_{\text{H},i}$  分别取以 10 为底的对数，将  $\lg(\text{SMAV}_{\text{H},i}) / \lg(\text{SMCV}_{\text{H},i})$  作为模型拟合时的自变量，以  $\lg(\text{SMAV}_{\text{H},i}) / \lg(\text{SMCV}_{\text{H},i})$  对应的  $F_R$  为因变量，进行 SSD 模型拟合（包括：正态分布模型、对数正态分布模型、逻辑斯谛分布模型、对数逻辑斯谛分布模型），依据模型拟合的决定系数 ( $r^2$ )、均方根 (RMSE)、残差平方和 (SSE) 以及 K-S 检验结果，确定最优拟合模型。对数正态分布模型和对数逻辑斯谛分布模型要求自变量为正数。

### 5.1.6 基准的确定

#### 5.1.6.1 物种危害浓度 $\text{HC}_x$

根据“5.1.5 模型拟合与评价”确定的最优拟合模型拟合的 SSD 曲线，确定累积频率 5%、10%、25%、50%、75%、90%、95% 所对应的  $\lg(\text{SMAV}_{\text{H},i}) / \lg(\text{SMCV}_{\text{H},i})$  值，取反对数后获得的  $\text{SMAV}_{\text{H},i} / \text{SMCV}_{\text{H},i}$ ，即为急性/慢性 5%、10%、25%、50%、75%、90%、95% 物种危害浓度  $\text{HC}_5$ 、 $\text{HC}_{10}$ 、 $\text{HC}_{25}$ 、 $\text{HC}_{50}$ 、 $\text{HC}_{75}$ 、 $\text{HC}_{90}$ 、 $\text{HC}_{95}$ 。

#### 5.1.6.2 基准值

$\text{HC}_5$  除以评估因子 2（根据 HJ 831—2017， $f$  大于 15 且涵盖足够营养级，评估因子取值为 2）后，即为淡水水生生物 SWQC 和 LWQC。

#### 5.1.6.3 SSD 模型拟合软件

本次基准推导采用的 SSD 模型拟合软件为 MATLAB R2016b (MathWorks)。

### 5.1.7 结果表达

数据修约按照《数值修约规则与极限数值的表示和判定》(GB/T 8170—2008) 进行，SWQC 和 LWQC 值均保留 2 位有效数字。

## 5.2 推导结果

### 5.2.1 短期水质基准



### 5.2.1.1 水体硬度校正

对附录 A 中每条数据的 ATV 和对应水体硬度值分别取以 10 为底的对数，利用公式 1 进行线性拟合，得到公式  $\lg(ATV)=1.0457\times\lg(H_A)+0.727$ ，急性毒性—水体硬度斜率  $K_A$  为 1.0457，决定系数  $r^2$  为 0.1181，线性显著相关 ( $p<0.05$ )，见图 1。

依据公式 3，对每条毒性数据进行水体硬度校正，分别获得水体硬度 H 为 50 mg/L，100 mg/L，150 mg/L，200 mg/L，250 mg/L，300 mg/L，350 mg/L，450 mg/L 时的  $ATV_H$ ，见附录 A。

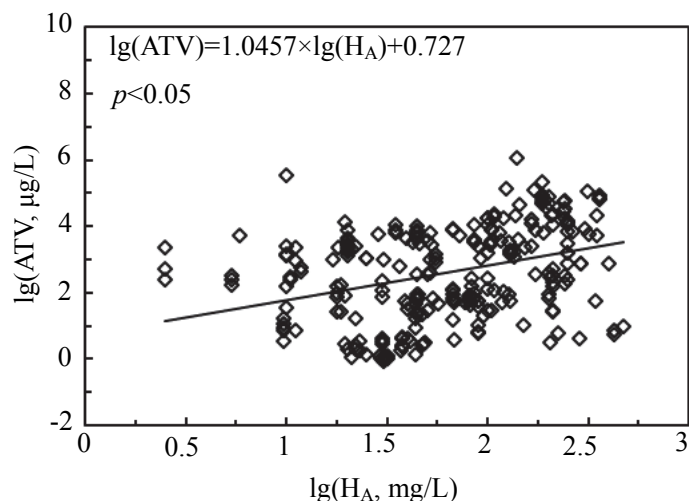


图 1 急性毒性—水体硬度关系图

### 5.2.1.2 毒性数据分布检验

根据附录 A 的  $ATV_H$ ，利用公式 5 得到每个物种的  $SMAV_{H,i}$ 。对  $SMAV_{H,i}$  和  $\lg(SMAV_{H,i})$  进行正态检验，结果见表 14。 $SMAV_{H,i}$  不符合正态分布； $\lg(SMAV_{H,i})$  符合正态分布，满足 SSD 模型拟合要求。

### 5.2.1.3 累积频率

利用公式 7 计算物种的  $\lg(SMAV_{H,i})$  及累积频率  $F_R$ ，结果见表 15。

### 5.2.1.4 模型拟合与评价

模型拟合结果如表 16 所示。指定水体硬度条件下，通过  $r^2$ 、RMSE、SSE、 $p$  值 (K-S 检验) 的比较，正态分布模型 SSD 曲线拟合最优，拟合结果见图 2。

### 5.2.1.5 短期物种危害浓度

采用正态分布模型推导的  $HC_5$ 、 $HC_{10}$ 、 $HC_{25}$ 、 $HC_{50}$ 、 $HC_{75}$ 、 $HC_{90}$ 、 $HC_{95}$  值结果见表 17。

### 5.2.1.6 短期水质基准

表 17 中不同硬度水质条件下  $HC_5$  除以评估因子 2，即为不同硬度水质条件下 SWQC (表 18)，表示对 95% 的中国淡水水生生物及其生态功能不产生急性有害效应的水体中镉最大浓度 (以任何 1 小时的算术平均浓度计)。

表 14 急性毒性数据正态性检验结果

	H (以 CaCO <sub>3</sub> 计, mg/L)	百分位数										算术 平均值	标准差	峰度	偏度	p 值 (K-S检验)
		P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95								
SMAV <sub>Hi</sub> (µg/L)	50	2.447	7.200	41.61	755.5	5463	10071	18700	6678	25752	48.01	6.748	<0.05			
	100	5.052	14.86	85.90	1560	11278	20791	38604	13785	53161	48.01	6.748				
	150	7.720	22.71	131.3	2383	17233	31770	58988	21064	81232	48.01	6.748				
	200	10.43	30.68	177.3	3220	23281	42921	79692	28457	109743	48.01	6.748				
	250	13.17	38.75	223.9	4066	29400	54201	100636	35936	138585	48.01	6.748				
	300	15.94	46.89	271.0	4920	35575	65585	121773	43484	167694	48.01	6.748				
	350	18.72	55.09	318.4	5780	41798	77057	143073	51090	197026	48.01	6.748				
	450	24.35	71.64	414.1	7518	54361	100217	186076	66446	256245	48.01	6.748				
	50	0.3845	0.8494	1.619	2.878	3.737	4.002	4.236	2.615	1.225	-0.7920	-0.1770		>0.05		
	100	0.6992	1.164	1.934	3.193	4.052	4.317	4.551	2.930	1.225	-0.7920	-0.1770				
150	0.8834	1.348	2.118	3.377	4.236	4.501	4.735	3.114	1.225	-0.7920	-0.1770					
200	1.014	1.479	2.249	3.508	4.367	4.632	4.865	3.245	1.225	-0.7920	-0.1770					
250	1.115	1.580	2.350	3.609	4.468	4.733	4.967	3.346	1.225	-0.7920	-0.1770					
300	1.198	1.663	2.433	3.692	4.551	4.816	5.050	3.429	1.225	-0.7920	-0.1770					
350	1.268	1.733	2.503	3.762	4.621	4.886	5.120	3.499	1.225	-0.7920	-0.1770					
450	1.382	1.847	2.617	3.876	4.735	5.000	5.234	3.613	1.225	-0.7920	-0.1770					

表 15 种平均急性值及累积频率

物种 i	lg(SMAV <sub>HLS</sub> , µg/L)										R	f (个)	Fr (%)
	H=50	H=100	H=150	H=200	H=250	H=300	H=350	H=450					
条纹狼鲈	0.1642	0.4790	0.6631	0.7938	0.8951	0.9779	1.048	1.162	1	1	1.724		
虹鳟	0.1902	0.5050	0.6891	0.8198	0.9211	1.004	1.074	1.188	2	1	3.448		
美洲红点鲑	0.4060	0.7208	0.9050	1.036	1.137	1.220	1.290	1.404	3	1	5.172		
亚东鲑	0.5587	0.8735	1.058	1.188	1.290	1.372	1.442	1.557	4	1	6.897		
大鳞大马哈鱼	0.6744	0.9892	1.173	1.304	1.405	1.488	1.558	1.672	5	1	8.621		
银鲑	0.8931	1.208	1.392	1.523	1.624	1.707	1.777	1.891	6	1	10.34		
蚤状钩虾	1.161	1.476	1.660	1.791	1.892	1.975	2.045	2.159	7	1	12.07		
大型蚤	1.266	1.580	1.765	1.895	1.997	2.079	2.149	2.264	8	1	13.79		
绿水媳	1.288	1.602	1.787	1.917	2.019	2.101	2.171	2.285	9	1	15.52		
澳洲淡水龙虾	1.329	1.644	1.828	1.958	2.060	2.142	2.212	2.327	10	1	17.24		
模糊网纹蚤	1.586	1.901	2.085	2.216	2.317	2.400	2.470	2.584	11	1	18.97		
棘爪网纹蚤	1.597	1.912	2.096	2.226	2.328	2.411	2.481	2.595	12	1	20.69		
端足类钩虾	1.600	1.915	2.099	2.230	2.331	2.414	2.484	2.598	13	1	22.41		
多刺裸腹蚤	1.615	1.930	2.114	2.245	2.346	2.429	2.499	2.613	14	1	24.14		
老年低额蚤	1.623	1.938	2.122	2.253	2.354	2.437	2.507	2.621	15	1	25.86		
蚤状蚤	1.701	2.016	2.200	2.331	2.432	2.515	2.585	2.699	16	1	27.59		
锯顶低额蚤	1.729	2.043	2.227	2.358	2.459	2.542	2.612	2.726	17	1	29.31		
浮萍	1.845	2.160	2.344	2.475	2.576	2.659	2.729	2.843	18	1	31.03		
褐水媳	1.853	2.168	2.352	2.483	2.584	2.667	2.737	2.851	19	1	32.76		
普通水媳	1.909	2.223	2.408	2.538	2.640	2.722	2.792	2.906	20	1	34.48		
无褶螺	2.020	2.335	2.519	2.650	2.751	2.834	2.904	3.018	21	1	36.21		

物种 i	lg(SMAV <sub>Hi</sub> , μg/L)										R	f (个)	F <sub>R</sub> (%)
	H=50	H=100	H=150	H=200	H=250	H=300	H=350	H=450					
中华新米虾	2.159	2.474	2.658	2.788	2.890	2.972	3.042	3.157	22	1	37.93		
青鱗	2.172	2.486	2.671	2.801	2.903	2.985	3.055	3.169	23	1	39.66		
短尾秀体蚤	2.227	2.542	2.726	2.856	2.958	3.041	3.111	3.225	24	1	41.38		
仙女虫	2.243	2.558	2.742	2.873	2.974	3.057	3.127	3.241	25	1	43.10		
夹杂带丝蚓	2.301	2.616	2.800	2.931	3.032	3.115	3.185	3.299	26	1	44.83		
静水椎实螺	2.355	2.669	2.854	2.984	3.086	3.168	3.238	3.352	27	1	46.55		
圆形盘肠蚤	2.852	3.167	3.351	3.482	3.583	3.666	3.736	3.850	28	1	48.28		
霍甫水丝蚓	2.878	3.193	3.377	3.508	3.609	3.692	3.762	3.876	29	1	50.00		
萼花臂尾虫	2.960	3.274	3.459	3.589	3.690	3.773	3.843	3.957	30	1	51.72		
黑头软口鲦	2.985	3.299	3.483	3.614	3.715	3.798	3.868	3.982	31	1	53.45		
美洲鳗鲡	3.000	3.315	3.499	3.630	3.731	3.814	3.884	3.998	32	1	55.17		
原螯虾	3.073	3.388	3.572	3.702	3.804	3.887	3.957	4.071	33	1	56.90		
三角帆蚌	3.118	3.433	3.617	3.748	3.849	3.932	4.002	4.116	34	1	58.62		
俄勒冈叶唇鱼	3.120	3.435	3.619	3.750	3.851	3.934	4.004	4.118	35	1	60.34		
中华大螯蛛	3.147	3.461	3.646	3.776	3.878	3.960	4.030	4.145	36	1	62.07		
光滑爪蟾胚胎	3.172	3.487	3.671	3.802	3.903	3.986	4.056	4.170	37	1	63.79		
斑马鱼	3.342	3.657	3.841	3.971	4.073	4.155	4.226	4.340	38	1	65.52		
孔雀胎鱗	3.358	3.673	3.857	3.988	4.089	4.172	4.242	4.356	39	1	67.24		
正颤蚓	3.473	3.788	3.972	4.103	4.204	4.287	4.357	4.471	40	1	68.97		
克氏原螯虾	3.616	3.931	4.115	4.246	4.347	4.430	4.500	4.614	41	1	70.69		
无鳞甲三刺鱼	3.725	4.040	4.224	4.355	4.456	4.539	4.609	4.723	42	1	72.41		
草鱼	3.735	4.050	4.234	4.365	4.466	4.549	4.619	4.733	43	1	74.14		
唐鱼	3.738	4.053	4.237	4.367	4.469	4.552	4.622	4.736	44	1	75.86		

物种 i	lg(SMAV <sub>HLi</sub> , μg/L)										R	f (个)	F <sub>R</sub> (%)
	H=50	H=100	H=150	H=200	H=250	H=300	H=350	H=450					
莫桑比克罗非鱼	3.762	4.077	4.261	4.392	4.493	4.576	4.646	4.760	45	1	77.59		
尼罗罗非鱼	3.764	4.079	4.263	4.393	4.495	4.577	4.647	4.762	46	1	79.31		
斑点叉尾鮰	3.801	4.116	4.300	4.431	4.532	4.615	4.685	4.799	47	1	81.03		
鲫鱼	3.867	4.182	4.366	4.497	4.598	4.681	4.751	4.865	48	1	82.76		
蓝鳃太阳鲈	3.895	4.210	4.394	4.525	4.626	4.709	4.779	4.893	48	1	84.48		
食蚊鱼	3.912	4.227	4.411	4.542	4.643	4.726	4.796	4.910	50	1	86.21		
鲤鱼	3.943	4.258	4.442	4.572	4.674	4.757	4.827	4.941	51	1	87.93		
绿太阳鱼	3.987	4.302	4.486	4.617	4.718	4.801	4.871	4.985	52	1	89.66		
麦瑞加鲮鱼	4.062	4.376	4.560	4.691	4.792	4.875	4.945	5.059	53	1	91.38		
苏氏尾鳃蚓	4.152	4.467	4.651	4.781	4.883	4.966	5.036	5.150	54	1	93.10		
鱮鱼	4.185	4.500	4.684	4.815	4.916	4.999	5.069	5.183	55	1	94.83		
麦穗鱼	4.692	5.007	5.191	5.321	5.423	5.505	5.576	5.690	56	1	96.55		
摇蚊幼虫	5.279	5.593	5.778	5.908	6.010	6.092	6.162	6.277	57	1	98.28		

表 16 短期水质基准模型拟合结果

H (以 CaCO <sub>3</sub> 计, mg/L)	拟合模型	$r^2$	RMSE	SSE	$p$ 值 (K-S 检验)
50	<b>正态分布模型</b>	<b>0.9733</b>	<b>0.0464</b>	<b>0.1225</b>	<b>0.6581</b>
	对数正态分布模型	0.9055	0.0872	0.4334	0.0866
	逻辑斯谛分布模型	0.9689	0.05	0.1427	0.7114
	对数逻辑斯谛分布模型	0.9591	0.0574	0.1876	0.1742
100	<b>正态分布模型</b>	<b>0.9733</b>	<b>0.0464</b>	<b>0.1225</b>	<b>0.6581</b>
	对数正态分布模型	0.9055	0.0872	0.4334	0.0866
	逻辑斯谛分布模型	0.9689	0.05	0.1427	0.7114
	对数逻辑斯谛分布模型	0.9591	0.0574	0.1876	0.1742
150	<b>正态分布模型</b>	<b>0.9733</b>	<b>0.0464</b>	<b>0.1225</b>	<b>0.6581</b>
	对数正态分布模型	0.9055	0.0872	0.4334	0.0866
	逻辑斯谛分布模型	0.9689	0.05	0.1427	0.7114
	对数逻辑斯谛分布模型	0.9591	0.0574	0.1876	0.1742
200	<b>正态分布模型</b>	<b>0.9733</b>	<b>0.0464</b>	<b>0.1225</b>	<b>0.6581</b>
	对数正态分布模型	0.9055	0.0872	0.4334	0.0866
	逻辑斯谛分布模型	0.9689	0.05	0.1427	0.7114
	对数逻辑斯谛分布模型	0.9591	0.0574	0.1876	0.1742
250	<b>正态分布模型</b>	<b>0.9733</b>	<b>0.0464</b>	<b>0.1225</b>	<b>0.6581</b>
	对数正态分布模型	0.9055	0.0872	0.4334	0.0866
	逻辑斯谛分布模型	0.9689	0.05	0.1427	0.7114
	对数逻辑斯谛分布模型	0.9591	0.0574	0.1876	0.1742
300	<b>正态分布模型</b>	<b>0.9733</b>	<b>0.0464</b>	<b>0.1225</b>	<b>0.6581</b>
	对数正态分布模型	0.9055	0.0872	0.4334	0.0866
	逻辑斯谛分布模型	0.9689	0.05	0.1427	0.7114
	对数逻辑斯谛分布模型	0.9591	0.0574	0.1876	0.1742
350	<b>正态分布模型</b>	<b>0.9733</b>	<b>0.0464</b>	<b>0.1225</b>	<b>0.6581</b>
	对数正态分布模型	0.9055	0.0872	0.4334	0.0866
	逻辑斯谛分布模型	0.9689	0.05	0.1427	0.7114
	对数逻辑斯谛分布模型	0.9591	0.0574	0.1876	0.1742
450	<b>正态分布模型</b>	<b>0.9733</b>	<b>0.0464</b>	<b>0.1225</b>	<b>0.6581</b>
	对数正态分布模型	0.9055	0.0872	0.4334	0.0866
	逻辑斯谛分布模型	0.9689	0.05	0.1427	0.7114
	对数逻辑斯谛分布模型	0.9591	0.0574	0.1876	0.1742

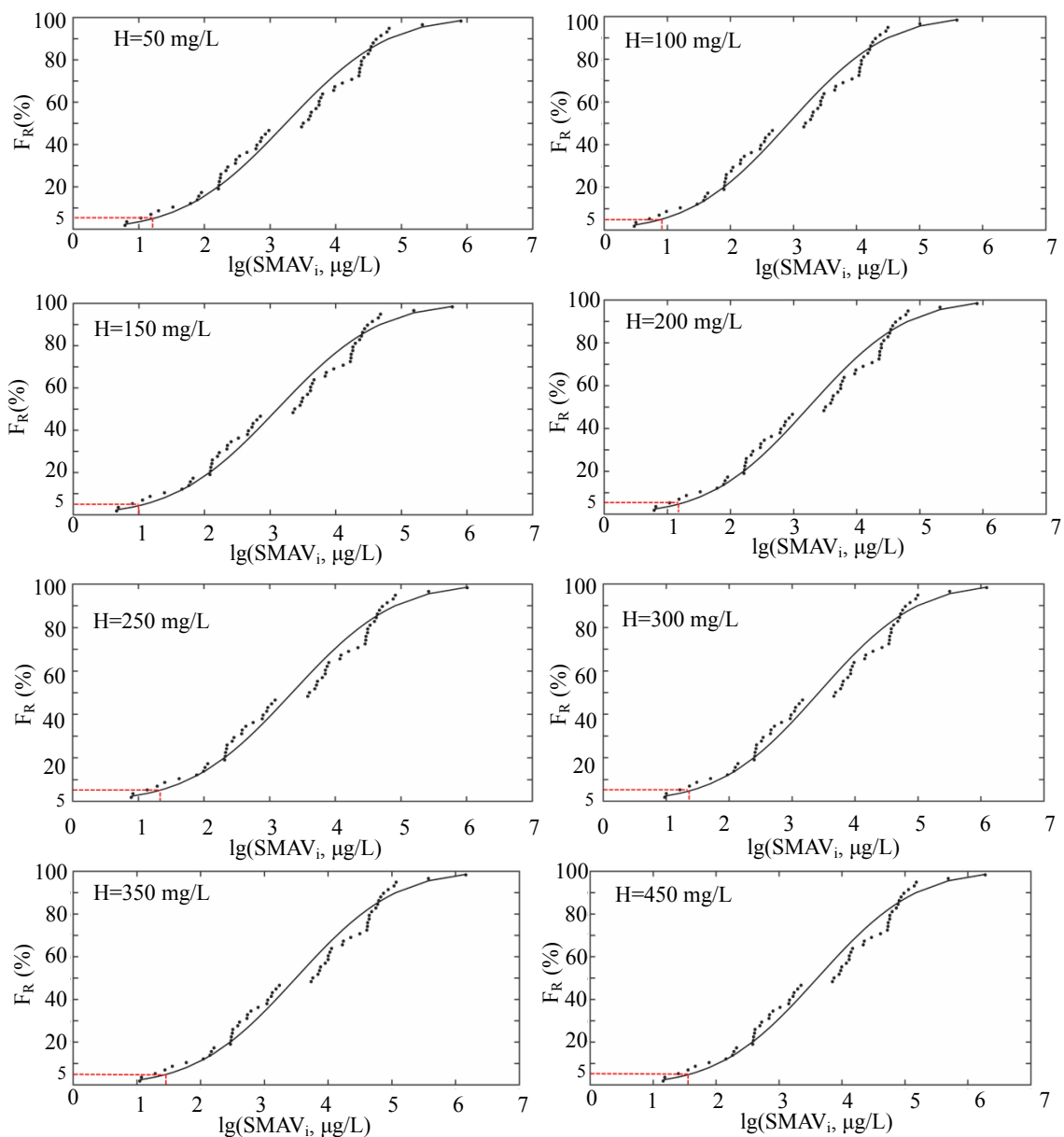


图2 对数急性毒性—累积频率的正态分布模型拟合曲线 (H 为水体硬度)

表 17 短期物种危害浓度

H (以 CaCO <sub>3</sub> 计, mg/L)	HC <sub>x</sub> (μg/L)						
	HC <sub>5</sub>	HC <sub>10</sub>	HC <sub>25</sub>	HC <sub>50</sub>	HC <sub>75</sub>	HC <sub>90</sub>	HC <sub>95</sub>
50	4.101	11.22	60.39	391.6	2540	13663	37399
100	8.465	23.17	124.7	808.4	5243	28205	77204
150	12.94	35.41	190.5	1235	8011	43097	117972
200	17.48	47.84	257.3	1669	10823	58225	159382
250	22.07	60.41	325.0	2107	13668	73528	201266
300	26.70	73.10	393.2	2550	16538	88971	243540
350	31.37	85.88	462.0	2996	19431	104532	286141
450	40.80	111.7	600.9	3897	25271	135950	372143

表 18 短期水质基准

H (以 CaCO <sub>3</sub> 计, mg/L)	HC <sub>5</sub> (μg/L)	评估因子	SWQC (μg/L)
50	4.101	2	2.1
100	8.465	2	4.2
150	12.94	2	6.5
200	17.48	2	8.7
250	22.07	2	11
300	26.70	2	13
350	31.37	2	16
450	40.80	2	20

## 5.2.2 长期水质基准

### 5.2.2.1 水体硬度校正

对附录 B 中每条数据的 CTV 和对应水体硬度值分别取以 10 为底的对数, 利用公式 2 进行线性拟合, 得到公式  $\lg(\text{CTV})=0.583 \times \lg(\text{H}_C)-0.4193$ , 慢性毒性—水体硬度斜率  $K_C$  为 0.583, 决定系数  $r^2$  为 0.0846, 线性显著相关 ( $p < 0.05$ ), 见图 3。

依据公式 4, 对每条毒性数据进行水体硬度校正, 分别获得水体硬度 H 为 50 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 250 mg/L, 300 mg/L, 350 mg/L, 450 mg/L 时的  $\text{CTV}_H$ , 见附录 B。

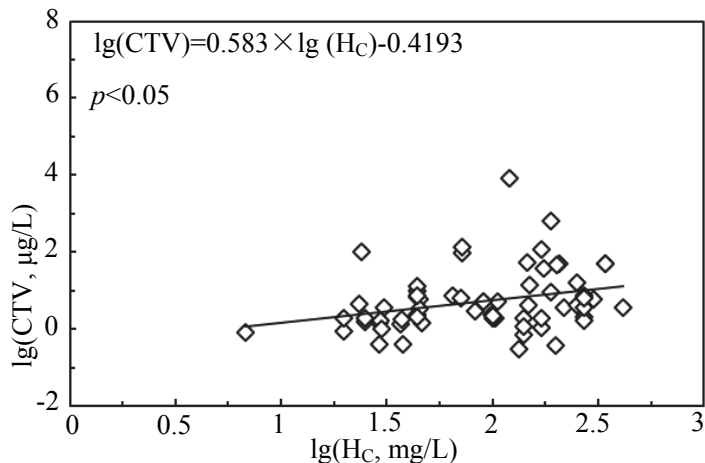


图 3 慢性毒性—水体硬度关系图

### 5.2.2.2 毒性数据分布检验

根据附录 B 的  $\text{CTV}_H$ , 利用公式 6 得每个物种的  $\text{SMCV}_{H,i}$ 。将  $\text{SMCV}_{H,i}$  和  $\lg(\text{SMCV}_{H,i})$  进行统计分析, 结果见表 19。  $\text{SMCV}_{H,i}$  不符合正态分布;  $\lg(\text{SMCV}_{H,i})$  符合正态分布, 满足 SSD 模型拟合要求。

### 5.2.2.3 累积频率

利用公式 7 计算物种的  $\lg(\text{SMCV}_{H,i})$  及累积频率  $F_R$ , 结果见表 20。



表 19 慢性毒性数据正态性检验结果

	H (以 CaCO <sub>3</sub> 计, mg/L)	百分位数									算术 平均值	标准差	峰度	偏度	p 值 (K-S 检验)
		P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95							
SMCV <sub>H,i</sub> (µg/L)	50	0.6667	1.296	2.574	4.746	27.95	240.7	4021	246.5	1028	22.77	4.762	<0.05		
	100	0.9987	1.942	3.855	7.109	41.87	360.5	6024	369.3	1540	22.77	4.762			
	150	1.265	2.460	4.883	9.004	53.04	456.6	7630	467.8	1950	22.77	4.762			
	200	1.496	2.909	5.775	10.65	62.72	540.0	9023	553.2	2307	22.77	4.762			
	250	1.704	3.313	6.577	12.13	71.44	615.0	10277	630.0	2627	22.77	4.762			
	300	1.895	3.685	7.315	13.49	79.45	684.0	11429	700.7	2922	22.77	4.762			
	350	2.073	4.031	8.002	14.76	86.92	748.3	12504	766.6	3196	22.77	4.762			
	450	2.400	4.667	9.265	17.08	100.6	866.4	14477	887.5	3701	22.77	4.762			
	50	-0.2093	0.1126	0.4105	0.6763	1.446	2.359	3.451	1.003	0.9113	2.189	1.374		>0.05	
	100	-0.03380	0.2881	0.5860	0.8518	1.622	2.534	3.627	1.179	0.9113	2.189	1.374			
150	0.06880	0.3908	0.6887	0.9544	1.725	2.637	3.729	1.281	0.9113	2.189	1.374				
200	0.1417	0.4636	0.7615	1.027	1.797	2.710	3.802	1.354	0.9113	2.189	1.374				
250	0.1982	0.5201	0.8180	1.084	1.854	2.766	3.859	1.411	0.9113	2.189	1.374				
300	0.2443	0.5663	0.8642	1.130	1.900	2.812	3.905	1.457	0.9113	2.189	1.374				
350	0.2834	0.6053	0.9032	1.169	1.939	2.851	3.944	1.496	0.9113	2.189	1.374				
450	0.3470	0.6690	0.9669	1.233	2.003	2.915	4.008	1.560	0.9113	2.189	1.374				

表 20 种平均慢性值及累积频率

物种 i	lg(SMCV <sub>H<sub>i</sub></sub> , µg/L)										R	f (个)	F <sub>R</sub> (%)
	H=50	H=100	H=150	H=200	H=250	H=300	H=350	H=450					
大型蚤	-0.2877	-0.1123	-0.009551	0.06321	0.1197	0.1659	0.2049	0.2686	1	1	4.167		
模糊网纹蚤	0.1044	0.2798	0.3825	0.4553	0.5118	0.5579	0.5970	0.6606	2	1	8.333		
虹鳟	0.1250	0.3006	0.4033	0.4761	0.5326	0.5788	0.6178	0.6814	3	1	12.50		
青鳉	0.3324	0.5080	0.6107	0.6835	0.7400	0.7862	0.8252	0.8889	4	1	16.67		
银鲑	0.3551	0.5305	0.6332	0.7060	0.7625	0.8087	0.8477	0.9113	5	1	20.83		
大鳞大马哈鱼	0.4105	0.5861	0.6887	0.7615	0.8180	0.8642	0.9032	0.9669	6	1	25.00		
美洲红点鲑	0.4244	0.6000	0.7026	0.7755	0.8320	0.8782	0.9172	0.9808	7	1	29.17		
亚东鲟	0.5402	0.7156	0.8183	0.8912	0.9477	0.9938	1.033	1.096	8	1	33.33		
尖头栅藻	0.5501	0.7257	0.8283	0.9011	0.9577	1.004	1.043	1.107	9	1	37.50		
小球藻	0.5501	0.7257	0.8283	0.9011	0.9577	1.004	1.043	1.107	10	1	41.67		
蚤状蚤	0.6584	0.8339	0.9366	1.009	1.066	1.112	1.151	1.215	11	1	45.83		
无褶螺	0.6763	0.8518	0.9545	1.027	1.084	1.130	1.169	1.233	12	1	50.00		
大西洋鲑	0.8473	1.023	1.125	1.198	1.255	1.301	1.340	1.404	13	1	54.17		
白斑狗鱼	0.8993	1.075	1.178	1.250	1.307	1.353	1.392	1.456	14	1	58.33		
蓝腮太阳鱼	0.980	1.156	1.258	1.331	1.388	1.434	1.473	1.536	15	1	62.50		
黑头软口鲮	1.160	1.335	1.438	1.511	1.567	1.614	1.653	1.716	16	1	66.67		
尼罗罗非鱼	1.214	1.389	1.492	1.565	1.621	1.667	1.706	1.770	17	1	70.83		
奥利亚罗非鱼	1.446	1.622	1.725	1.797	1.854	1.900	1.939	2.003	18	1	75.00		
近头状伪蹄形藻	1.768	1.943	2.046	2.119	2.175	2.221	2.261	2.324	19	1	79.17		
麦瑞加鲮鱼	1.965	2.141	2.243	2.316	2.373	2.419	2.458	2.522	20	1	83.33		
莱哈衣藻	2.182	2.357	2.460	2.532	2.589	2.635	2.674	2.738	21	1	87.50		
鲤鱼	2.477	2.652	2.755	2.828	2.884	2.931	2.970	3.033	22	1	91.67		
蜻蜓幼虫	3.695	3.870	3.973	4.046	4.102	4.148	4.187	4.251	23	1	95.83		

#### 5.2.2.4 模型拟合与评价

拟合结果如表 21 所示。由于大型溞的  $\lg(\text{SMCV}_{\text{H}_i})$  为负数，本次 LWQC 推导无法使用对数正态分布模型和对数逻辑斯谛分布模型，仅能使用正态分布模型和逻辑斯谛分布模型进行水质基准模型拟合。指定水体硬度条件下，通过  $r^2$ 、RMSE、SSE、 $p$  值（K-S 检验）的比较，逻辑斯谛分布模型拟合最优，拟合结果见图 4。

#### 5.2.2.5 长期物种危害浓度

选用逻辑斯谛分布模型推导的  $\text{HC}_5$ 、 $\text{HC}_{10}$ 、 $\text{HC}_{25}$ 、 $\text{HC}_{50}$ 、 $\text{HC}_{75}$ 、 $\text{HC}_{90}$ 、 $\text{HC}_{95}$  结果见表 22。

#### 5.2.2.6 长期水质基准

表 22 中不同硬度水质条件下  $\text{HC}_5$  除以评估因子 2，即为不同硬度水质条件下 LWQC（见表 23）。LWQC 表示对 95% 的中国淡水水生生物及其生态功能不产生慢性有害效应的水体中镉最大浓度（以连续 4 个自然日的日均浓度的算术平均浓度计）。

表 21 长期水质基准模型拟合结果

H (以 $\text{CaCO}_3$ 计, mg/L)	拟合模型	$r^2$	RMSE	SSE	$p$ 值 (K-S 检验)
50	正态分布模型	0.9200	0.0782	0.1406	0.5274
	<b>逻辑斯谛分布模型</b>	<b>0.9548</b>	<b>0.0587</b>	<b>0.0794</b>	<b>0.7928</b>
100	正态分布模型	0.9200	0.0782	0.1406	0.5274
	<b>逻辑斯谛分布模型</b>	<b>0.9548</b>	<b>0.0587</b>	<b>0.0794</b>	<b>0.7928</b>
150	正态分布模型	0.9200	0.0782	0.1406	0.5274
	<b>逻辑斯谛分布模型</b>	<b>0.9548</b>	<b>0.0587</b>	<b>0.0794</b>	<b>0.7928</b>
200	正态分布模型	0.9200	0.0782	0.1406	0.5274
	<b>逻辑斯谛分布模型</b>	<b>0.9548</b>	<b>0.0587</b>	<b>0.0794</b>	<b>0.7928</b>
250	正态分布模型	0.9200	0.0782	0.1406	0.5274
	<b>逻辑斯谛分布模型</b>	<b>0.9548</b>	<b>0.0587</b>	<b>0.0794</b>	<b>0.7928</b>
300	正态分布模型	0.9200	0.0782	0.1406	0.5274
	<b>逻辑斯谛分布模型</b>	<b>0.9548</b>	<b>0.0587</b>	<b>0.0794</b>	<b>0.7928</b>
350	正态分布模型	0.9200	0.0782	0.1406	0.5274
	<b>逻辑斯谛分布模型</b>	<b>0.9548</b>	<b>0.0587</b>	<b>0.0794</b>	<b>0.7928</b>
450	正态分布模型	0.9200	0.0782	0.1406	0.5274
	<b>逻辑斯谛分布模型</b>	<b>0.9548</b>	<b>0.0587</b>	<b>0.0794</b>	<b>0.7928</b>

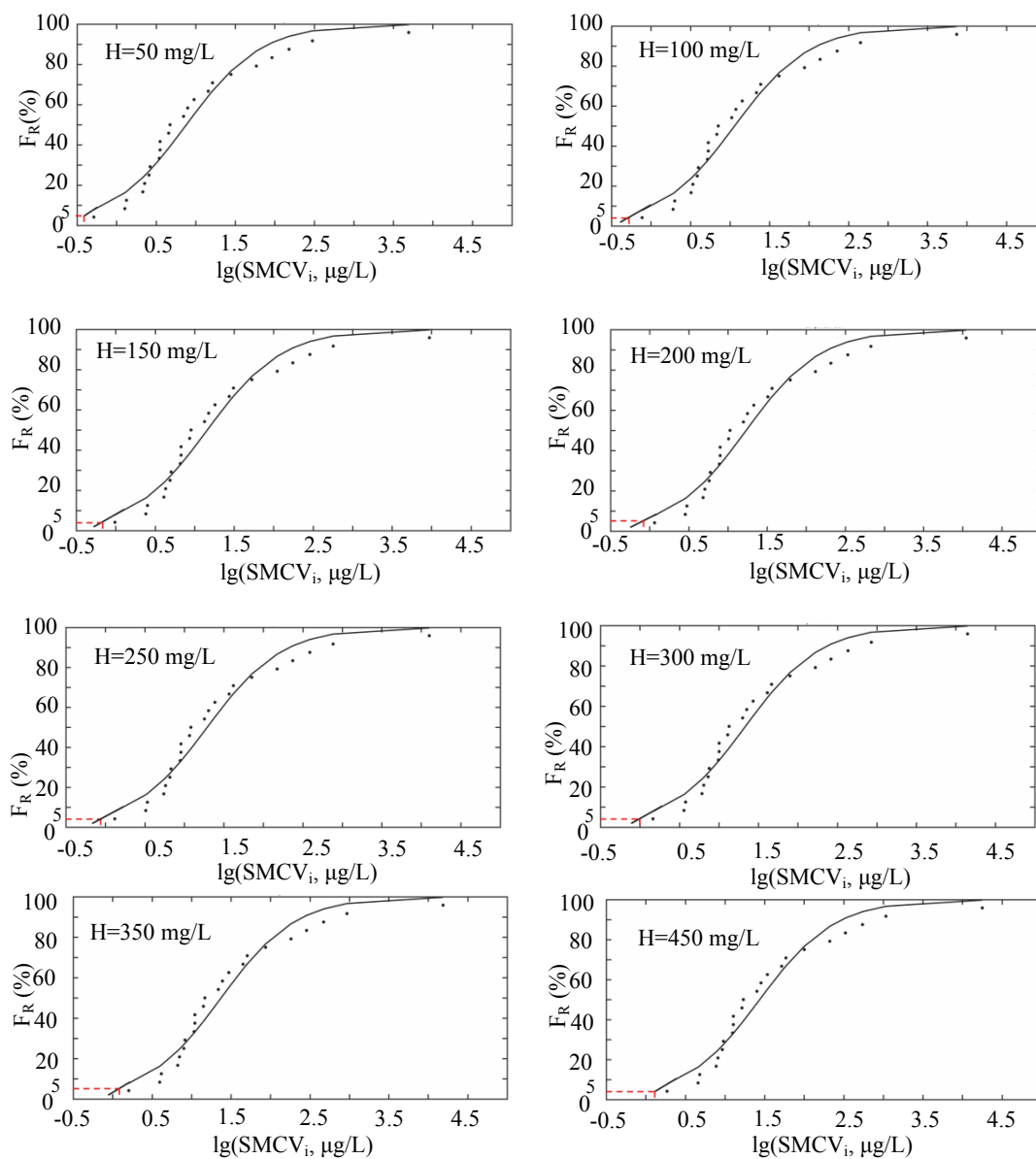


图 4 对数慢性毒性—累积频率的逻辑斯谛分布模型拟合曲线 (H 为水体硬度)

表 22 长期物种危害浓度

H (以 CaCO <sub>3</sub> 计, mg/L)	HC <sub>x</sub> (μg/L)						
	HC <sub>5</sub>	HC <sub>10</sub>	HC <sub>25</sub>	HC <sub>50</sub>	HC <sub>75</sub>	HC <sub>90</sub>	HC <sub>95</sub>
50	0.3076	0.6948	2.303	7.633	25.30	83.85	189.4
100	0.4607	1.041	3.450	11.43	37.90	125.6	283.8
150	0.5836	1.319	4.370	14.48	48.00	159.1	359.4
200	0.6902	1.559	5.168	17.13	56.77	188.2	424.9
250	0.7861	1.776	5.886	19.51	64.65	214.3	484.1
300	0.8743	1.975	6.546	21.70	71.91	238.3	538.4
350	0.9566	2.161	7.162	23.74	78.67	260.7	589.0
450	1.107	2.502	8.292	27.48	91.08	301.9	682.0

表 23 长期水质基准

H (以 CaCO <sub>3</sub> 计, mg/L)	HC <sub>5</sub> (µg/L)	评估因子	LWQC (µg/L)
50	0.3076	2	0.15
100	0.4607	2	0.23
150	0.5836	2	0.29
200	0.6902	2	0.35
250	0.7861	2	0.39
300	0.8742	2	0.44
350	0.9564	2	0.48
450	1.107	2	0.55

## 6 基准审核

2019年12月10日,依据《国家环境基准管理办法(试行)》《国家生态环境基准专家委员会章程(试行)》,国家生态环境基准专家委员会召开《淡水水生生物水质基准—镉》(2020年版)科学评估会议。

科学评估会议认为,《淡水水生生物水质基准—镉》(2020年版)编制经过开题论证、征求意见及相关技术审查环节,符合国家生态环境基准管理规定;基准文件内容编制逻辑清晰,基准推导过程、推导方法科学规范,使用数据可靠,符合《淡水水生生物水质基准制定技术指南》(HJ 831—2017)要求。经专家投票表决,一致通过《淡水水生生物水质基准—镉》(2020年版)科学评估。

《淡水水生生物水质基准—镉》(2020年版)推导所涉及物种和数据质量情况见表24。我国水质基准研究尚处于起步阶段,能够满足基准推导要求的毒性数据量有限,发达国家在其基准研究过程中也存在类似问题。随着我国生态环境科学研究的不断发展和深入,生态环境基准也将适时修订和更新。

表 24 基准推导涉及物种和数据质量情况

内容	HJ 831—2017 要求	本基准使用	
		SWQC	LWQC
营养 级别	生产者	1.浮萍	1.尖头栅藻; 2.近头状伪蹄形藻; 3.莱茵衣藻 4.小球藻
	初级消费者	1.斑马鱼; 2.草鱼; 3.大型蚤; 4.短尾秀体蚤; 5.端足类钩虾; 6.多刺裸腹蚤; 7.萼花臂尾轮虫; 8.褐水螅; 9.霍甫水丝蚓; 10.鲫鱼; 11.棘爪网纹蚤; 12.夹杂带丝蚓; 13.锯顶低额蚤; 14.克氏原螯虾; 15.老年低额蚤; 16.鲤鱼; 17.绿水螅; 18.麦瑞加拉鲮鱼; 19.模糊网纹蚤; 20.莫桑比克罗非鱼; 21.普通水螅; 22.三角帆蚌; 23.苏氏尾鳃蚓; 24.无鳞甲三刺鱼; 25.无褶螺; 26.仙女虫; 27.摇蚊幼虫; 28.原螯虾; 29.圆形盘肠蚤; 30.蚤状钩虾; 31.蚤状蚤; 32.正颤蚓; 33.中华新米虾	1.奥利亚罗非鱼; 2.大型蚤; 3.鲤鱼; 4.麦瑞加拉鲮鱼; 5.模糊网纹蚤; 6.无褶螺; 7.蚤状蚤

	次级消费者	1.澳洲淡水龙虾; 2.斑点叉尾鮰; 3.大鳞大马哈鱼; 4.俄勒冈叶唇鱼; 5.光滑爪蟾; 6.黑头软口鲮; 7.虹鳟; 8.静水椎实螺; 9.孔雀胎鲮; 10.蓝鳃太阳鲈; 11.绿太阳鱼; 12.麦穗鱼; 13.美洲红点鲑; 14.美洲鳗鲡; 15.尼罗罗非鱼; 16.青鳉; 17.食蚊鱼; 18.唐鱼; 19.条纹狼鲈; 20.亚东鲮; 21.银鲑; 22.鳊鱼; 23.中华大蟾蜍;	1. 白斑狗鱼; 2.大鳞大马哈鱼; 3.大西洋鲑; 4.黑头软口鲮; 5.虹鳟; 6.蓝鳃太阳鲈; 7.美洲红点鲑; 8.尼罗罗非鱼; 9.青鳉; 10.蜻蜓幼虫; 11.亚东鲮; 12.银鲑
物种要求	至少包括5个物种	57个物种	23个物种
	1种硬骨鲤科鱼类	1.草鱼; 2.俄勒冈叶唇鱼; 3.鲫鱼; 4.鲤鱼; 5.麦穗鱼; 6.麦瑞加拉鲮鱼; 7.鳊鱼	1.麦瑞加拉鲮鱼; 2.黑头软口鲮; 3.鲤鱼
	1种硬骨非鲤科鱼类	1.斑马鱼; 2.大鳞大马哈鱼; 3.黑头软口鲮; 4.虹鳟; 5.孔雀胎鲮; 6.蓝鳃太阳鲈; 7.绿太阳鱼; 8.美洲鳗鲡; 9.莫桑比克罗非鱼; 10.美洲红点鲑; 11.尼罗罗非鱼; 12.青鳉; 13.食蚊鱼; 14.亚东鲮; 15.唐鱼; 16.条纹狼鲈; 17.无鳞甲三刺鱼; 18.银鲑	1.奥利亚罗非鱼; 2.白斑狗鱼; 3.大鳞大马哈鱼; 4.大西洋鲑; 5.虹鳟; 6.蓝鳃太阳鲈; 7.美洲红点鲑; 8.尼罗罗非鱼; 9.青鳉; 10.亚东鲮; 11.银鲑
	1种浮游动物	1.大型蚤; 2.短尾秀体蚤; 3.多刺裸腹蚤; 4.棘爪网纹蚤; 5.锯顶低额蚤; 6.老年低额蚤; 7.模糊网纹蚤; 8.圆形盘肠蚤; 9.蚤状蚤	1.大型蚤; 2.模糊网纹蚤; 3.蚤状蚤
	1种底栖动物	1.澳洲淡水龙虾; 2.斑点叉尾鮰; 3.蓴花臂尾轮虫; 4.端足类钩虾; 5.光滑爪蟾; 6.霍甫水丝蚓; 7.褐水螅; 8.夹杂带丝蚓; 9.静水椎实螺; 10.克氏原螯虾; 11.绿水螅; 12.普通水螅; 13.三角帆蚌; 14.苏氏尾鳃蚓; 15.无褶螺; 16.仙女虫; 17.摇蚊幼虫; 18.原螯虾; 19.蚤状钩虾; 20.正颤蚓; 21.中华大蟾蜍; 22.中华新米虾	1.无褶螺; 2.蜻蜓幼虫
	1种水生植物	1.浮萍	1.尖头栅藻; 2.近头状伪蹄形藻; 3.莱茵衣藻; 4.小球藻
毒性数据	无限制可靠	0	4条
	限制可靠	277条	63条
	不可靠	0	0
	不确定	0	0

## 参考文献

1. 吴丰昌等. 2014. 中国环境基准体系中长期路线图, 科学出版社.
2. 吴丰昌等. 2012. 水质基准理论与方法学及其案例研究, 当代杰出青年科学文库, 科学出版社.
3. 吴丰昌等. 2011. 镉的淡水水生生物水质基准研究, 环境科学研究, 24(2): 172-184.
4. Wu F C, Meng W, Zhao X L, Li H X, Zhang R Q, Cao Y J, Liao H Q. 2010. China embarking on development of its own national water quality criteria system. Environ. Sci. Technol. 44(21): 7992-7993.
5. Feng C L, Li H, Yan Z F, Wang Y J, Wang C, Fu Z Y, Liao W, Giesy J P, Bai Y C. 2019. Technical study on national mandatory guideline for deriving water quality criteria for the protection of freshwater aquatic organisms in China. J. Environ. Manag. 250: 109539.
6. 周怀东等. 2004. 中国地表水水质评价, 中国水利水电科学研究院学报, 04: 255-264.
7. 中国科学院中国动物志编辑委员会. 1978-2018. 中国动物志, 科学出版社.
8. 中国大百科全书总编辑委员会. 2009. 中国大百科全书(第二卷), 中国大百科全书出版社.
9. 中国科学院生物多样性委员会. 2019. 中国生物物种名录, 国家出版基金项目“十三五”国家重点出版物出版规划项目, 科学出版社.
10. 徐海根等. 2011. 中国外来入侵生物. 环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书, 科学出版社.
11. Jiang Q C, Dilixiati A, Zhang C. 2013. Metabolic and antioxidant responses in juveniles of *Cherax quadricarinatus* under acute cadmium stress. J. Crustacean Biol. 33(4): 552-556.
12. Phipps G L, Holcombe G W. 1985. A method for aquatic multiple species toxicant testing: Acute toxicity of 10 chemicals to 5 vertebrates and 2 invertebrates. Environ. Pollut. (Series. A), 38(2): 141-157.
13. Spehar R L, Carlson A R. 1984. Derivation of site-specific water quality criteria for cadmium and the St. Louis River Basin, Duluth, Minnesota. Environ. Toxicol. Chem. 3(4): 651-665.
14. Alsop D, Wood C M. 2011. Metal uptake and acute toxicity in zebrafish: common mechanisms across multiple metals. Aquat. Toxicol. 105(3/4): 385-393.
15. Vergauwen L, Hagennars A, De Boeck G, Blust R, Knapen D. 2012. Effect of temperature on cadmium toxicity in zebrafish: From transcriptome to physiology. Comp. Biochem. Phys. A. 163: S14.
16. Vergauwen L, Knapen D, Hagennars A, Blust R. 2013. Hypothermal and hyperthermal acclimation differentially modulate cadmium accumulation and toxicity in the zebrafish. Chemosphere 91(4): 521-529.
17. Wang H, Liang Y, Li S, Chang J. 2013. Acute toxicity, respiratory reaction, and sensitivity of three cyprinid fish species caused by exposure to four heavy metals. PLoS One 8(6): e65282.

18. 王桂燕等. 2007. 对二氯苯和镉对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的联合毒性效应研究, 环境科学, 28(1): 156-159.
19. 王桂燕等. 2007. 镉对草鱼的急性毒性效应及 SOD 的影响, 东北大学学报(自然科学版), 28(12): 1758-1761.
20. 侯丽萍等. 2002. 镉与锌对草鱼种的急性毒性和联合毒性研究, 淡水渔业, 32(3): 44-46.
21. 王桂燕等. 2007. 四氯乙烯和镉对草鱼的单一与联合毒性效应, 应用生态学报, 18(5): 1120-1124.
22. Chapman G A. 1978. Toxicities of cadmium, copper, and zinc to four juvenile stages of Chinook salmon and steelhead. Trans. Am. Fish. Soc. 107(6): 841-847.
23. Hamilton S J, Buhl K J. 1990. Safety assessment of selected inorganic elements to fry of Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Ecotox. Environ. Safe. 20(3): 307-324.
24. USEPA. Aquatic life ambient water quality criteria cadmium-2016. EPA-820-R-16-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, 4304T.
25. Finlayson B J, Verrue K M. 1982. Toxicities of copper, zinc, and cadmium mixtures to juvenile Chinook salmon. Trans. Am. Fish. Soc. 111(5): 645-650.
26. Andros J D, Garton R R. 1980. Acute lethality of copper, cadmium, and zinc to northern squawfish. Trans. Am. Fish. Soc. 109(2): 235-238.
27. Canton J H, Slooff W. 1982. Toxicity and accumulation studies of cadmium ( $Cd^{2+}$ ) with freshwater organisms of different trophic levels. Ecotox. Environ. Safe. 6(1): 113-128.
28. Attar E N, Maly E J. 1982. Acute toxicity of cadmium, zinc, and cadmium-zinc mixtures to *Daphnia magna*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 11(3): 291-296.
29. 陈芳等. 2009. 模拟城市径流中加乐麝香和镉对大型水蚤的毒性效应, 中国环境科学, 29(1): 58-62.
30. Mohammed A, Agard J B R. 2006. Comparative sensitivity of three tropical cladoceran species (*Diaphanosoma brachyurum*, *Ceriodaphnia rigaudii* and *Moinodaphnia macleayi*) to Six Chemicals. J. Environ. Sci. Health, Part A(12): 2713-2720.
31. Sakamoto M, Tanaka Y. 2011. Acute toxic impacts of three heavy metals (copper, zinc, and cadmium) on *Diaphanosoma brachyurum* (Cladocera: Sididae). Limnology. 12(2): 193-196.
32. Hatakeyama S, Yasuno M. 1981. Effects of cadmium on the periodicity of parturition and brood size of *Moina macrocopa* (Cladocera). Environ. Pollut. (Series A). 26:111-120.
33. Couillard Y, Ross P, Rinel-Alloul B. 1989. Acute toxicity of six metals to the rotifer *Brachionus calyciflorus*, with comparisons to other freshwater organisms. Toxic. Assess. 4(4): 451-462.
34. Taraldsen J E, Norberg-King T J. 1990. New method for determining effluent toxicity using duckweed (*Lemna minor*). Environ. Toxicol. Chem. 9(6): 761-767.
35. Sunderman J, Plowman M C, Hopfer S M. 1991. Embryotoxicity and teratogenicity of cadmium chloride in *Xenopus laevis*, assayed by the FETAX procedure. Ann. Clin. Lab. Sci. 21(6): 381-391.



36. Gungordu A, Birhanli A, Ozmen M. 2010. Assessment of embryotoxic effects of cadmium, lead and copper on *Xenopus laevis*. *Fresenius Environ. Bull.* 19(11): 2528-2535.
37. Karntanut W, Pascoe D. 2002. The toxicity of copper, cadmium and zinc to four different *Hydra* (Cnidaria: Hydrozoa). *Chemosphere* 47(10): 1059-1064.
38. Benson W H, Birge W J. 1983. Heavy metal tolerance and metallothionein induction in fathead minnows: Results from field and laboratory investigations. *Environ. Toxicol. Chem.* 4(2): 209-217.
39. Carrier R, Beiting T L. 1988. Reduction in thermal tolerance of *Notropis Iutrensis* and *Pimephales promelas* exposed to cadmium. *Water Res.* 22(4): 511-515.
40. Birge W J, Black J A, Westerman A G, Ramey B A. 1983. Fish and amphibian embryos - a model system for evaluating teratogenicity fundam. *J. Appl. Toxicol.* 3(4):237-242.
41. Davies P H, Gorman W C, Carlson C A, Brinkman S F. 1993. Effect of hardness on bioavailability and toxicity of cadmium to rainbow trout. *Chem. Spec. Bioavailab.* 5(2): 67-77.
42. Hollis L, McGeer J C, McDonald D G, Wood C M. 2000. Effects of long term sublethal Cd exposure in rainbow trout during soft water exposure: Implications for biotic ligand modelling. *Aquat. Toxicol.* 51: 93-105.
43. Qu R, Liu J, Wang L, Wang Z Y. 2016. The toxic effect and bioaccumulation in aquatic oligochaete *Limnodrilus hoffmeisteri* after combined exposure to cadmium and perfluorooctane sulfonate at different pH values. *Chemosphere* 152: 496-502.
44. Chapman P M, Farrell M A, Brinkhurst R O. 1982. Relative tolerances of selected aquatic oligochaetes to individual pollutants and environmental factors. *Aquat. Toxicol.* 2(1): 47-67.
45. Carr R S, Williams J W, Saksa F I, Buhl R L, Neff J M. 1985. Bioenergetic alterations correlated with growth, fecundity and body burden of cadmium for mysids (*Mysidopsis bahia*). *Environ. Toxicol. Chem.* 4: 181-188.
46. Mount D I, Norberg T J. 1984. A seven-day life-cycle cladoceran toxicity test. *Environ. Toxicol. Chem.* 3(3): 425-434.
47. Hall W S, Paulson R L, Hall J L W, Burton D T. 1986. Acute toxicity of cadmium and sodium pentachlorophenate to daphnids and fish. *Bull. Environ. Contam. Tox.* 37(2): 308-316.
48. Elnabarawy M T, Welter A N, Robideau R R. 1986. Relative sensitivity of three daphnid species to selected organic and inorganic chemicals. *Environ. Toxicol. Chem.* 5(4): 393-398.
49. Fennikoh K B, Hirshfield H I, Kneip T J. 1978. Cadmium toxicity in planktonic organisms of a freshwater food web. *Environ. Res.* 15(3): 357-367.
50. McCarty L S, Henry J A C, Houston A H. 1978. Toxicity of cadmium to goldfish, *Carassius auratus*, in hard and soft water. *J. Fish. Res. Board Can.* 35(1): 35-42.
51. Pickering Q H, Henderson C. 1966. The acute toxicity of some heavy metals to different species of warmwater fishes. *Air. Water Pollut. Int. J.* 10(6): 453-463.
52. Bailey H C, Liu D H W. 1980. *Lumbriculus variegatus*, a benthic oligochaete, as a bioassay

- organism. ASTM Spec. Tech. Publ. 205-215.
53. Schubauer-Berigan M K, Dierkes J R, Monson P D, Ankley G T. 1993. pH-dependent toxicity of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn to *Ceriodaphnia dubia*, *Pimephales promelas*, *Hyalella azteca* and *Lumbriculus variegatus*. Environ. Toxicol. Chem. 12(7): 1261-1266.
  54. Hickey C W, Martin M L. 1995. Relative sensitivity of five benthic invertebrate species to reference toxicants and resin-acid contaminated sediments. Environ. Toxicol. Chem. 14(8): 1401-1409.
  55. Coeurdassier M, De Vaufleury A, Scheifler R, Morhain E, Badot P M. 2004. Effects of cadmium on the survival of three life-stages of the freshwater pulmonate *Lymnaea stagnalis* (Mollusca: Gastropoda). Bull. Environ. Contam. Tox. 72(5): 1083-1090.
  56. Giesy J P, Leversee G J, Williams D R. 1977. Effects of naturally occurring aquatic organic fractions of cadmium toxicity to *Simocephalus serrulatus* (Daphnidae) and *Gambusia affinis* (Poeciliidae). Water Res. 11: 1013-1020.
  57. Giesy J P, Wiener J G. 1977. Frequency distributions of trace metal concentrations in five freshwater fishes. Trans. Am. Fish. Soc. 106(4): 393-403.
  58. Del Ramo J, Diaz-Mayans J, Torreblanca A, Nunez A. 1987. Effects of temperature on the acute toxicity of heavy metals (Cr, Cd, and Hg) to the freshwater crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard). Bull. Environ. Contam. Tox. 38(5): 736-741.
  59. Naqvi S M, Howell R D. 1993. Toxicity of cadmium and lead to juvenile red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*, and effects on fecundity of adults. Bull. Environ. Contam. Tox. 51(2): 303-308.
  60. Wigginton A J, Birge W J. 2007. Toxicity of cadmium to six species in two genera of crayfish and the effect of cadmium on molting success. Environ. Toxicol. Chem. 26(3): 548-554.
  61. Gadkari A S, Marathe V B. 1983. Toxicity of cadmium and lead to a fish and a snail from two different habitats. IAWPC Tech. Annual. 141-148.
  62. Shuhaimi-Othman M, Nadzifah Y, Nur-Amalina R, Umirah N S. 2013. Deriving freshwater quality criteria for copper, cadmium, aluminum and manganese for protection of aquatic life in Malaysia. Chemosphere 90(11): 2631-2636.
  63. Eaton J G. 1974. Chronic cadmium toxicity to the bluegill (*Lepomis macrochirus Rafinesque*). Trans. Am. Fish. Soc. 103(4): 729-735.
  64. Bishop W E, McIntosh A W. 1981. Acute lethality and effects of sublethal cadmium exposure on ventilation frequency and cough rate of bluegill (*Lepomis macrochirus*). Arch. Environ. Contam. Toxicol. 10(5): 519-530.
  65. Suresh A, Sivaramakrishna B, Radhakrishnaiah K. 1993. Effect of lethal and sublethal concentrations of cadmium on energetics in the gills of fry and fingerlings of *Cyprinus carpio*. Bull. Environ. Contam. Tox. 51(6): 920-926.
  66. Datta S, Masala S H, Das D C. 2003. Influence of some abiotic factors on the acute toxicity of cadmium to *Cyprinus carpio*. J. Indian Fish. Assoc. 30: 41-52.

67. Sovenyi J, Szakolczai J. 1993. Studies on the toxic and immunosuppressive effects of cadmium on the common carp. *Acta Veter. Hungarica*. 41(3/4): 415-426.
68. Ghosal T K, Kaviraj A. 2002. Combined effects of cadmium and composted manure to aquatic organisms. *Chemosphere* 46(7): 1099-1105.
69. El-Bouhy Z, Alkelch A M, Saleh G, Ali A M. 1993. Effects of heavy metals intoxication on some fresh water fish. *Zag. J. Pharm. Sci.* 2(2): 73-90.
70. Suresh A B, Sivaramakrishna B, Radhakrishnaiah K. 1993. Patterns of cadmium accumulation in the organs of fry and fingerlings of freshwater fish *Cyprinus carpio* following cadmium exposure. *Chemosphere* 26(5): 945-953.
71. Kondera E, Lugowska K, Sarnowski P. 2014. High affinity of cadmium and copper to head kidney of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Fish Physiol. Biochem.* 40(1): 9-22.
72. Holdway D A, Lok K, Semaan M. 2001. The acute and chronic toxicity of cadmium and zinc to two hydra species. *Environ. Toxicol.* 16: 557-565.
73. Carrier R, Beitinger T L. 1988. Resistance of temperature tolerance ability of green sunfish to cadmium exposure. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 40(4): 475-480.
74. Verma S R, Tonk I P, Gupta A K, Saxena M. 1984. Evaluation of an application factor for determining the safe concentration of agricultural and industrial chemicals. *Water Res.* 18(1): 111-115.
75. Malarvizhi A, Saravanan M, Poopal R K, Hur J H, Ramesh M. 2017. Accumulation of cadmium and antioxidant and hormonal responses in the Indian major carp *Cirrhinus mrigala* during acute and sublethal exposure. *Water Air Soil Pollut.* 228(8): 228-310.
76. 宋维彦等. 2010. 重金属离子对麦穗鱼的急性毒性作用研究, *江苏农业科学*, (1): 239-241.
77. Rehwoldt R, Menapace L W, Nerrie B, Alessandrello D. 1972. The effect of increased temperature upon the acute toxicity of some heavy metal ions. *B. Environ. Contam. Tox.* 8(2): 91-96.
78. Diamond J M, Koplisch D E, McMahon J, Rost R. 1997. Evaluation of the water-effect ratio procedure for metals in a riverine system. *Environ. Toxicol. Chem.* 16(3): 509-520.
79. Bitton G, Rhodes K, Koopman B. 1996. Ceriofast: An acute toxicity test based on *Ceriodaphnia dubia* feeding behavior. *Environ. Toxicol. Chem.* 15(2): 123-125.
80. Lee S III, Na E J, Cho Y O, Koopman B, Bitton G. 1997. Short-term toxicity test based on algal uptake by *Ceriodaphnia dubia*. *Water Environ. Res.* 69(7): 1207-1210.
81. Jun B H, Lee S I, Ryu H D, Kim Y J. 2006. Temperature-based rapid toxicity test using *Ceriodaphnia dubia*. *Water Sci. Technol.* 53(4/5): 347-355.
82. Hockett J R, Mount D R. 1996. Use of metal chelating agents to differentiate among sources of acute aquatic toxicity. *Environ. Toxicol. Chem.* 15(10): 1687-1693.
83. Shaw J R, Dempsey T D, Chen C Y, Hamilton J W, Folt C L. 2006. Comparative toxicity of cadmium, zinc, and mixtures of cadmium and zinc to daphnids. *Environ. Toxicol. Chem.* 25(1): 182-189.

84. Gaikwad S A. 1989. Effects of mixture and three individual heavy metals on susceptibility of three freshwater fishes. *Pollut. Res.* 8(1): 33-35.
85. James R, Sampath K. 1999. Effect of zeolite on the reduction of cadmium toxicity in water and a freshwater fish, *Oreochromis mossambicus*. *Bull. Environ. Contam. Tox.* 62(2): 222-229.
86. Annune P A, Ebele S O, Oladimeji A A. 1994. Acute toxicity of cadmium to juveniles of *Clarias gariepinus* (Teugels) and *Oreochromis niloticus* (Trewavas). *J. Environ. Sci. Health. Part A, Environ. Sci. Eng. Toxic Hazard. Substance Contro.* 129(7): 1357-1365.
87. Beach M J, Pascoe D. 1998. The role of *Hydra vulgaris* (Pallas) in assessing the toxicity of freshwater pollutants. *Water Res.* 32(1): 101-106.
88. Karntanut W, Pascoe D. 2000. A comparison of methods for measuring acute toxicity to *Hydra vulgaris*. *Chemosphere* 41: 1543-1548.
89. 毕蕾等. 2009. 不同水温条件下重金属对三角帆蚌幼蚌的急性致毒效应, *安徽农业科学*, 37(14): 6468-6471.
90. Das B K, Kaviraj A. 1994. Individual and interactive lethal toxicity of cadmium, potassium permanganate and cobalt chloride to fish, worm and plankton. *Geobios.* 21(4): 223-227.
91. Ghosal T K, Kaviraj A. 1996. Influence of poultry litter on the toxicity of cadmium to aquatic organisms. *Bull. Environ. Contam. Tox.* 57(6): 1009-1015.
92. 王瑞龙等. 2006. 铜,镉,锌对唐鱼的急性毒性及安全浓度评价, *水产科学*, 25(3): 117-120.
93. 肖衍等. 2013. 铜,镉及其联合毒性对唐鱼肝脏 CYP3A 基因表达影响, *湖北农业科学*, 52(10): 2439-2442.
94. Palawski D, Hunn J B, Dwyer F J. 1985. Sensitivity of young striped bass to organic and inorganic contaminants in fresh and saline waters. *T. Am. Fish. Soc.* 114(5): 748-753.
95. Pascoe D, Cram P. 1977. The effect of parasitism on toxicity of cadmium to the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. *J. Fish. Biol.* 10(5): 467-472.
96. Holcombe G W, Phipps G L, Marier J W. 1984. Methods for conducting snail (*Aplexa hypnorum*) embryo through adult exposures: Effects of cadmium and reduced pH levels. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 13(5): 627-634.
97. Shuhaimi-Othman M, Nadzifah Y, Umirah N S, Ahmad A K. 2012. Toxicity of metals to an Aquatic Worm, *Nais elinguis* (*Oligochaeta, Naididae*). *Res. J. Environ. Toxicol.* 6(4): 122-132.
98. Brinkman S F, Hansen D L. 2007. Toxicity of cadmium to early life stages of brown trout (*Salmo trutta*) at multiple water hardnesses. *Environ. Toxicol. Chem.* 26(8): 1666-1671.
99. Pascoe D, Brown A F, Evans B M J, McKavanagh C. 1990. Effects and fate of cadmium during toxicity tests with *Chironomus riparius*-the influence of food and artificial sediment. *Arch. Environ. Con. Tox.* 19(6): 872-877.
100. Lee S E, Yoo D H, Son J, Cho K. 2006. Proteomic evaluation of cadmium toxicity on the midge *Chironomus riparius* Meigen larvae. *Proteomics*, 6(3): 945-957.

101. Gillis P L, Wood C M. 2008. The effect of extreme waterborne cadmium exposure on the internal concentrations of cadmium, calcium, and sodium in *Chironomus riparius* larvae. *Ecotox. Environ. Safe.* 71(1): 56-64.
102. Buhl K J, Hamilton S J. 1991. Relative sensitivity of early life stages of arctic grayling, coho salmon, and rainbow trout to nine inorganics. *Ecotox. Environ. Safe.* 22(2): 184-197.
103. 陈锡涛等. 1991. 镉对花鲢 *Aristichthys nobilis* 仔鱼、鱼苗和鱼种的急性毒性及其安全浓度的评价, *环境科学与技术*, 4: 7-10.
104. Lalande M, Pinel-Alloul B. 1983. Acute toxicity of cadmium, copper, mercury and zinc to *Chydorus sphaericus* (Cladocera) from three Quebec Lakes. *Water Pollut. Res. J. Can.* 18: 103-113.
105. McCahon C P, Pascoe D. 1988. Increased sensitivity to cadmium of the freshwater amphipod *Gammarus pulex* (L.) during the reproductive period. *Aquat. Toxicol.* 13(3): 183-194.
106. McCahon C P, Brown A F, Pascoe D. 1988. The effect of the acanthocephalan *Pomphorhynchus laevis* (Müller 1776) on the acute toxicity of cadmium to its intermediate host, the amphipod *Gammarus pulex* (L.) *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 17(2): 239-243.
107. Jindal R, Verma A. 1990. Heavy metal toxicity to *Daphnia pulex*. *Indian. J. Environ. Health* 32(3): 289-292.
108. Roux D J, Kempster P L, Truter E, Van der Merwe L. 1993. Effect of cadmium and copper on survival and reproduction of *Daphnia pulex*. *Water SA* 19(4): 269-274.
109. Bertram P E, Hart B A. 1979. Longevity and reproduction of *Daphnia pulex* (de Geer) exposed to cadmium-contaminated food or water. *Environ. Pollut.* 19(4): 295-305.
110. Stackhouse R A, Benson W H. 1988. The influence of humic acid on the toxicity and bioavailability of selected trace metals. *Aquat. Toxicol.* 13(2): 99-107.
111. Reynoldson T B, Rodriguez P, Madrid M M. 1996. A comparison of reproduction, growth and acute toxicity in two populations of *Tubifex tubifex* (Müller, 1774) from the North American Great Lakes and Northern Spain. *Hydrobiologia* 334(1-3): 199-206.
112. Rathore R S, Khangarot B S. 2002. Effects of temperature on the sensitivity of sludge worm *Tubifex tubifex* Müller to selected heavy metals. *Ecotox. Environ. Safe.* 53(1): 27-36.
113. Rathore R S, Khangarot B S. 2003. Effects of water hardness and metal concentration on a freshwater *Tubifex tubifex* Muller. *Water Air Soil Pollut.* 142(1-4): 341-356.
114. 马丽等. 2015. 7种金属离子对中国林蛙和中华大蟾蜍蝌蚪的急性毒性比较研究, *生态毒理学报*, 10(3): 230-237.
115. Kitamura H. 1990. Relation between the toxicity of some toxicants to the aquatic animals (*Tanichthys albonubes* and *Neocaridina denticulata*) and the hardness of the test solution. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.* 67: 13-19.
116. Papoutsoglou S, Abel P D. 1988. Sublethal toxicity and accumulation of cadmium in *Tilapia aurea*. *Bull. Environ. Contam. Tox.* 41(3): 404-411.
117. Eaton J G, McKim J M, Holcombe G W. 1978. Metal toxicity to embryos and larvae of seven

- freshwater fish species-I. Cadmium. Bull. Environ. Contam. Tox. 19(1): 95-103.
118. Rombough P J, Garside E T. 1982. Cadmium toxicity and accumulation in eggs and alevins of Atlantic salmon *Salmo salar*. Can. J. Zool. 60(8): 2006-2014.
119. Winner R W, Whitford T C. 1987. The interactive effects of a cadmium stress, a selenium deficiency and water temperature on the survival and reproduction of *Daphnia magna* Straus. Aquat. Toxicol. 10(4): 217-224.
120. Poynton H C, Varshavsky J R, Chang B, Cavigliolo G, Chan S, Holman P S, Loguinov A V, Bauer D J, Komachi K, Theil E C, Perkins E J, Hughes O, Vulpe C D. 2007. *Daphnia magna* ecotoxicogenomics provides mechanistic insights into metal toxicity. Environ. Sci. Technol. 41(3): 1044-1050.
121. Baird, D J, Barber I, Calow P. 1990. Clonal variation in general responses of *Daphnia magna* Straus to toxic stress. I. Chronic life-history effects. Funct. Ecol. 4(3): 399-407.
122. Pickering Q H, Gast M H. 1972. Acute and chronic toxicity of cadmium to fathead minnow (*Pimephales promelas*). J. Fish. Res. Board Can. 29(8): 1099-1106.
123. Spehar R L, Fiandt J T. 1986. Acute and chronic effects of water quality criteria-based metal mixtures on three aquatic species. Environ. Toxicol. Chem. 5(10): 917-931.
124. Ng T Y T, Klinck J S, Wood C M. 2009. Does dietary Ca protect against toxicity of a low dietborne Cd exposure to the *Rainbow Trout*? Aquat. Toxicol. 91(1): 75-86.
125. Sandhu N, McGeer J C, Vijayan M M. 2014. Exposure to environmental levels of waterborne cadmium impacts corticosteroidogenic and metabolic capacities, and compromises secondary stressor performance in rainbow trout. Aquat. Toxicol. 146: 20-27.
126. Brown V, Shurben D, Miller W, Crane M. 1994. Cadmium toxicity to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* walbaum and brown trout *Salmo trutta* L. over extended exposure periods. Ecotox. Environ. Safe. 29(1): 38-46.
127. Besser J M, Mebane C A, Mount D R, Ivey C D, Kunz J L, Greer I E, May T W, Ingersoll C G. 2007. Sensitivity of mottled sculpins (*Cottus bairdi*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to acute and chronic toxicity of cadmium, copper, and zinc. Environ. Toxicol. Chem. 26(8): 1657-1665.
128. Lizardo-Daudt H M, Kennedy C. 2008. Effects of cadmium chloride on the development of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* early life stages. J. Fish Biol. 73(3): 702-718.
129. Mebane C A, Hennessy D P, Dillon F S. 2008. Developing acute-to-chronic toxicity ratios for lead, cadmium, and zinc using rainbow trout, a mayfly, and a midge. Water Air Soil Pollut. 188(1-4): 41-66.
130. Davies P H, Gorman W C. 1987. Effects of chemical equilibria and kinetics on the bioavailability and toxicity of cadmium to *rainbow trout*. Am. Chem. Soc. Natl. Meeting. 194: 646-650.
131. Schafer H, Wenzel A, Fritsche U, Roderer G, Traunspurger W. 1993. Long-term effects of selected xenobiotica on freshwater green algae: Development of a flow-through test system.

- Sci. Total Environ. 134: 735-740.
132. Cope W G, Wiener J G, Atchison G J. 1994. Hepatic cadmium, metal-binding proteins and bioaccumulation in bluegills exposed to aqueous cadmium. *Environ. Toxicol. Chem.* 13(4): 553-562.
  133. Bryan M D, Atchison G J, Sandheinrich M B. 1995. Effects of cadmium on the foraging behavior and growth of juvenile bluegill, *Lepomis macrochirus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52(52): 1630-1638.
  134. Bhilave M P, Muley D V, Deshpande V Y. 2008. Biochemical changes in the fish *Cirrhinus mrigala* after acute and chronic exposure of heavy metals. *Nat. Environ. Pollut. Technol.* 7(1): 65-71.
  135. Benoit D A, Leonard E N, Christensen G M, Fiandt J T. 1976. Toxic effects of cadmium on three generations of brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Trans. Am. Fish. Soc.* 105(4): 550-560.
  136. Brooks B W, Stanley J K, White J C, Turner P K, Wu K B, La Point T W. 2004. Laboratory and field responses to cadmium: An experimental study in effluent-dominated stream mesocosms. *Environ. Toxicol. Chem.* 23(4): 1057-1064.
  137. Oner M, Atli G, Canli M. 2008. Changes in serum biochemical parameters of freshwater fish *Oreochromis niloticus* following prolonged metal (Ag, Cd, Cr, Cu, Zn) exposures. *Environ. Toxicol. Chem.* 27(2): 360-366.
  138. Oner M, Atli G, Canli M. 2009. Effects of metal (Ag, Cd, Cr, Cu, Zn) exposures on some enzymatic and non-enzymatic indicators in the liver of *Oreochromis niloticus*. *Bull. Environ. Contam. Tox.* 82(3): 317-321.
  139. Tilton S C, Foran C M, Benson W H. 2004. Effects of cadmium on the reproductive axis of Japanese Medaka (*Oryzias latipes*). *Comp. Biochem. Phys. C. Toxicol. Pharmacol.* 136(3): 265-276.
  140. Tollett V D, Benvenuti E L, Deer L A, Rice T M. 2009. Differential toxicity to Cd, Pb, and Cu in Dragonfly Larvae (*Insecta: odonata*). *Arch. Environ. Con. Tox.* 56(1): 77-84.
  141. Goerke H, Weber K. 1990. Population-dependent elimination of various polychlorinated biphenyls in *Nereis diversicolor* (Polychaeta). *Mar. Environ. Res.* 29(3): 205-226.

附录 A 镉对淡水水生生物急性毒性数据

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV <sub>H</sub> (μg/L)		ATV <sub>H</sub> (μg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
1	澳洲淡水龙虾	<i>Cherax quadricarinatus</i>	43.79	8.48	-	9.741	20.11	30.73	41.51	52.42	63.44	74.53	96.93	[11]		
2	澳洲淡水龙虾	<i>Cherax quadricarinatus</i>	43.79	16.82	-	19.32	39.89	60.95	82.34	104.0	125.8	147.8	192.3	[11]		
3	澳洲淡水龙虾	<i>Cherax quadricarinatus</i>	43.79	44.8	-	51.46	106.2	162.3	219.3	277.0	335.1	393.8	512.1	[11]		
4	斑点叉尾鲷	<i>Ictalurus punctatus</i>	44.4	5020	-	5684	11734	17930	24223	30589	37014	43488	56559	[12]		
5	斑点叉尾鲷	<i>Ictalurus punctatus</i>	44.4	4610	-	5220	10775	16465	22244	28090	33991	39936	51939	[12]		
6	斑点叉尾鲷	<i>Ictalurus punctatus</i>	44.4	10200	-	11549	23841	36431	49217	62152	75207	88362	114920	[12]		
7	斑点叉尾鲷	<i>Ictalurus punctatus</i>	67	7940	-	5847	12070	18443	24916	31464	38073	44733	58178	[13]		
8	斑点叉尾鲷	<i>Ictalurus punctatus</i>	44.4	4480	-	5073	10472	16001	21617	27298	33032	38810	50475	[12]		
9	斑马鱼	<i>Danio rerio</i>	141	4047	-	1369	2825	4318	5833	7366	8913	10472	13619	[14]		
10	斑马鱼	<i>Danio rerio</i>	250	13657	-	2538	5239	8005	10815	13657	16526	19416	25252	[15,16]		
11	斑马鱼	<i>Danio rerio</i>	250	11510	-	2139	4415	6747	9115	11510	13928	16364	21282	[15,16]		
12	斑马鱼	<i>Danio rerio</i>	250	14005	-	2602	5372	8209	11090	14005	16947	19911	25895	[15,16]		
13	斑马鱼	<i>Danio rerio</i>	250	14241	-	2646	5463	8347	11277	14241	17232	20246	26332	[15,16]		
14	草鱼	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	120	18470	-	7394	15264	23324	31510	39792	48150	56572	73575	[17]		
15	草鱼	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	210.1	24410	-	5440	11231	17161	23184	29277	35427	41624	54134	[18]		
16	草鱼	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	210.1	24050	-	5360	11065	16908	22842	28846	34904	41010	53336	[19]		
17	草鱼	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	42.72	3490	-	4114	8493	12978	17533	22141	26792	31478	40939	[20]		
18	草鱼	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	210.1	24500	-	5460	11272	17224	23270	29385	35557	41777	54334	[21]		
19	大鳞大马哈鱼	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	23	3.5	-	7.884	16.27	24.87	33.60	42.43	51.34	60.32	78.45	[22]		



序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (µg/L)		ATV <sub>H</sub> (µg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>				
						ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
20	大鳞大马哈鱼	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	23	1.8	-	8.370	12.79	17.28	21.82	26.40	31.02	40.34	[22]			
21	大鳞大马哈鱼	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	211	26	-	11.91	18.20	24.58	31.05	37.57	44.14	57.40	[23]			
22	大鳞大马哈鱼	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	343	57	-	15.71	24.00	32.43	40.95	49.55	58.22	75.72	[23]			
23	大鳞大马哈鱼	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	25	1.41	-	6.009	9.182	12.40	15.66	18.95	22.27	28.96	[24]			
24	大鳞大马哈鱼	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	21	1.1	-	5.625	8.596	11.61	14.66	17.74	20.85	27.12	[25]			
25	俄勒冈叶唇鱼	<i>Ptychocheilus oregonensis</i>	25	1092	-	4654	7111	9607	12132	14680	17248	22432	[26]			
26	俄勒冈叶唇鱼	<i>Ptychocheilus oregonensis</i>	25	1104	-	4705	7189	9712	12265	14841	17437	22678	[26]			
27	俄勒冈叶唇鱼	<i>Ptychocheilus oregonensis</i>	316	5555	-	1668	2549	3443	4348	5261	6181	8039	[24]			
28	俄勒冈叶唇鱼	<i>Ptychocheilus oregonensis</i>	347	5518	-	1502	2296	3101	3916	4739	5568	7241	[24]			
29	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	50	30	-	61.93	94.63	127.8	161.4	195.4	229.5	298.5	[27]			
30	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	100	30	-	30.00	45.84	61.93	78.21	94.63	111.2	144.6	[27]			
31	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	130	58.16	-	44.21	67.55	91.26	115.2	139.4	163.8	213.1	[28]			
32	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	105	30	-	28.51	43.56	58.85	74.32	89.93	105.7	137.4	[27]			
33	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	209.2	30	-	13.86	21.19	28.62	36.14	43.74	51.39	66.83	[27]			
34	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	250	-	244	93.60	143.0	193.2	244.0	295.2	346.9	451.2	[29]			
35	端足类钩虾	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	68	62	-	92.80	141.8	191.6	241.9	292.7	343.9	447.3	[24]			
36	端足类钩虾	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	47.4	22	-	48.02	73.38	99.14	125.2	151.5	178.0	231.5	[24]			
37	端足类钩虾	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	76.8	49	-	64.58	98.68	133.3	168.3	203.7	239.3	311.3	[24]			
38	端足类钩虾	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	68	-	53	79.33	121.2	163.8	206.8	250.2	294.0	382.4	[24]			
39	端足类钩虾	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	43.5	68.3	-	163.1	249.2	336.7	425.2	514.5	604.5	786.2	[13]			

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (μg/L)		ATV <sub>II</sub> (μg/L)										来源		
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>	ATV <sub>II</sub> (μg/L)					
													ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>		ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>
40	端足类钩虾	<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	67	54.4	-	82.69	126.4	170.7	215.6	260.9	306.5	398.6	[13]					
41	短尾秀体蚤	<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	93	1060	-	1144	1747	2361	2981	3607	4238	5512	[30]					
42	短尾秀体蚤	<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	67.1	69.8	-	105.9	161.9	218.7	276.2	334.2	392.6	510.6	[31]					
43	多刺裸腹蚤	<i>Moina macrocopa</i>	82	42	-	51.69	78.98	106.7	134.7	163.0	191.6	249.1	[32]					
44	多刺裸腹蚤	<i>Moina macrocopa</i>	82	83	-	102.1	156.1	210.9	266.3	322.2	378.6	492.3	[32]					
45	多刺裸腹蚤	<i>Moina macrocopa</i>	82	76	-	93.53	142.9	193.1	243.8	295.0	346.6	450.8	[32]					
46	多刺裸腹蚤	<i>Moina macrocopa</i>	82	84	-	103.4	158.0	213.4	269.5	326.1	383.1	498.3	[32]					
47	多刺裸腹蚤	<i>Moina macrocopa</i>	82	71.25	-	87.68	134.0	181.0	228.6	276.6	325.0	422.6	[32]					
48	萼花臂尾轮虫	<i>Brachionus calyciflorus</i>	36.2	650	-	1881	2874	3883	4903	5933	6971	9066	[33]					
49	浮萍	<i>Lemna minor</i>	39	54	-	144.5	220.9	298.4	376.8	456.0	535.7	696.8	[34]					
50	光滑爪蟾	<i>Xenopus laevis</i>	85	4000	-	4741	7244	9787	12359	14955	17571	22852	[27]					
51	光滑爪蟾	<i>Xenopus laevis</i>	85	3200	-	3793	5796	7830	9887	11964	14057	18282	[27]					
52	光滑爪蟾	<i>Xenopus laevis</i>	116	3597	-	3080	4706	6358	8029	9715	11415	14846	[35]					
53	光滑爪蟾	<i>Xenopus laevis</i>	100	1600	-	1600	2445	3303	4171	5047	5930	7712	[36]					
54	褐水螅	<i>Hydra oligactis</i>	210	320	-	147.3	225.1	304.1	384.0	464.7	545.9	710.0	[37]					
55	黑头软口鲦	<i>Pimephales promelas</i>	250	7160	-	2747	4197	5670	7160	8664	10179	13239	[38]					
56	黑头软口鲦	<i>Pimephales promelas</i>	130	1390	-	1056	1614	2181	2754	3333	3916	5092	[38]					
57	黑头软口鲦	<i>Pimephales promelas</i>	130	1710	-	1300	1986	2683	3388	4100	4817	6265	[38]					
58	黑头软口鲦	<i>Pimephales promelas</i>	130	1520	-	1155	1765	2385	3012	3644	4282	5569	[38]					
59	黑头软口鲦	<i>Pimephales promelas</i>	130	1830	-	1391	2125	2871	3626	4388	5155	6704	[38]					

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (µg/L)		ATV <sub>H</sub> (µg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
						3060	-	568.6	1174	1794	2423	3060	3703	4350	5658	
60	黑头软口鲮	<i>Pimephales promelas</i>	250	-	3060	-	568.6	1174	1794	2423	3060	3703	4350	5658	[38]	
61	黑头软口鲮	<i>Pimephales promelas</i>	85.5	-	3580	-	2043	4217	6444	8706	10994	13303	15630	20328	[39]	
62	黑头软口鲮	<i>Pimephales promelas</i>	103	-	2900	-	1362	2812	4296	5804	7330	8870	10421	13553	[40]	
63	黑头软口鲮	<i>Pimephales promelas</i>	103	-	3100	-	1456	3006	4593	6205	7835	9481	11140	14488	[40]	
64	黑头软口鲮	<i>Pimephales promelas</i>	262.5	-	7160	-	1264	2610	3988	5388	6804	8233	9673	12580	[40]	
65	黑头软口鲮	<i>Pimephales promelas</i>	103	-	3060	-	1437	2967	4534	6125	7734	9359	10996	14301	[40]	
66	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	47	-	2.66	-	2.838	5.858	8.952	12.09	15.27	18.48	21.71	28.24	[41]	
67	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	204	-	3.15	-	0.7240	1.495	2.284	3.085	3.896	4.715	5.539	7.204	[41]	
68	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	427	-	7.56	-	0.8026	1.657	2.532	3.420	4.319	5.226	6.141	7.986	[41]	
69	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	49	-	3.02	-	3.084	6.367	9.730	13.14	16.60	20.09	23.60	30.69	[41]	
70	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	224	-	6.12	-	1.276	2.633	4.024	5.436	6.865	8.307	9.760	12.69	[41]	
71	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	422	-	5.7	-	0.6126	1.265	1.933	2.611	3.297	3.989	4.687	6.096	[41]	
72	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	20	-	2.07	-	5.396	11.14	17.02	23.00	29.04	35.14	41.29	53.70	[42]	
73	霍甫水丝蚓	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	135.5	-	1680	-	592.3	1223	1868	2524	3188	3857	4532	5894	[43]	
74	霍甫水丝蚓	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	135.5	-	1170	-	412.5	851.6	1301	1758	2220	2686	3156	4105	[43]	
75	霍甫水丝蚓	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	5.3	-	170	-	1777	3668	5605	7573	9563	11572	13596	17682	[44]	
76	霍甫水丝蚓	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	152	-	2400	-	750.4	1549	2367	3198	4038	4886	5741	7467	[45]	
77	棘爪网纹蚤	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	45	-	66	-	73.69	152.1	232.4	314.0	396.6	479.8	563.8	733.2	[46]	
78	棘爪网纹蚤	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	67	-	129	-	94.99	196.1	299.6	404.8	511.2	618.6	726.8	945.2	[13]	

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (µg/L)		ATV <sub>II</sub> (µg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
79	棘爪网纹蚤	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	120	-	110	44.04	90.91	138.9	187.7	237.0	286.8	336.9	438.2	[47]		
80	棘爪网纹蚤	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	200	-	70	16.43	33.91	51.81	70.00	88.40	107.0	125.7	163.4	[47]		
81	棘爪网纹蚤	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	200	-	90	21.12	43.60	66.62	90.00	113.7	137.5	161.6	210.1	[47]		
82	棘爪网纹蚤	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	240	-	184	35.68	73.66	112.6	152.1	192.0	232.4	273.0	355.1	[48]		
83	鲫鱼	<i>Carassius auratus</i>	22	2500	-	5899	12178	18608	25139	31746	38414	45134	58699	[49]		
84	鲫鱼	<i>Carassius auratus</i>	144	46800	-	15483	31963	48841	65983	83324	100826	118462	154067	[50]		
85	鲫鱼	<i>Carassius auratus</i>	21	2130	-	5277	10893	16645	22487	28396	34361	40371	52505	[50]		
86	鲫鱼	<i>Carassius auratus</i>	20	2340	-	6100	12593	19243	25997	32829	39724	46672	60701	[51]		
87	夹杂带丝蚓	<i>Lumbriculus variegatus</i>	30	120	-	204.7	422.6	645.8	872.5	1102	1333	1566	2037	[52]		
88	夹杂带丝蚓	<i>Lumbriculus variegatus</i>	30	74	-	126.2	260.6	398.2	538.0	679.4	822.1	965.9	1256	[52]		
89	夹杂带丝蚓	<i>Lumbriculus variegatus</i>	290	780	-	124.1	256.2	391.5	528.9	667.9	808.1	949.5	1235	[53]		
90	夹杂带丝蚓	<i>Lumbriculus variegatus</i>	10	-	150	807.2	1666	2546	3440	4344	5257	6176	8033	[54]		
91	夹杂带丝蚓	<i>Lumbriculus variegatus</i>	290	780	-	124.1	256.2	391.0	529.0	667.9	808.1	949.5	1235	[53]		
92	静水椎实螺	<i>Lymnaea stagnalis</i>	250	752	-	139.7	288.5	440.8	595.5	752.0	910.0	1069	1390	[55]		
93	静水椎实螺	<i>Lymnaea stagnalis</i>	250	1515	-	281.5	581.1	888.0	1200	1515	1833	2154	2801	[55]		
94	静水椎实螺	<i>Lymnaea stagnalis</i>	250	1585	-	294.5	608.0	929.1	1255	1585	1918	2253	2931	[55]		
95	锯顶低额蚤	<i>Simocephalus serrulatus</i>	9.7	16.5	-	91.67	189.2	289.2	390.7	493.3	597.0	701.4	912.2	[56]		
96	锯顶低额蚤	<i>Simocephalus serrulatus</i>	9.7	3.5	-	19.45	40.14	61.34	82.87	104.6	126.6	148.8	193.5	[56]		
97	锯顶低额蚤	<i>Simocephalus serrulatus</i>	9.7	8.6	-	47.78	98.64	150.7	203.6	257.1	311.1	365.6	475.4	[56]		

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (µg/L)		ATV <sub>H</sub> (µg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
														ATV <sub>1000</sub>	ATV <sub>1500</sub>	
98	锯顶低额蚤	<i>Simocephalus serrulatus</i>	10	-	35	188.4	388.8	594.2	802.7	1014	1227	1441	1874	[56]		
99	锯顶低额蚤	<i>Simocephalus serrulatus</i>	9.7	-	7	38.89	80.30	122.7	165.7	209.3	253.3	297.6	386.9	[56]		
100	锯顶低额蚤	<i>Simocephalus serrulatus</i>	9.7	-	12	66.67	137.6	210.3	284.1	358.8	434.1	510.1	663.4	[56]		
101	锯顶低额蚤	<i>Simocephalus serrulatus</i>	67	-	123	90.57	187.0	285.7	386.0	487.4	589.8	693.0	901.2	[13]		
102	锯顶低额蚤	<i>Simocephalus serrulatus</i>	43.5	-	24.5	28.34	58.50	89.40	120.8	152.5	184.6	216.8	282.0	[13]		
103	锯顶低额蚤	<i>Simocephalus serrulatus</i>	11.1	-	7	33.78	69.73	106.5	143.9	181.8	220.0	258.4	336.1	[57]		
104	克氏原螯虾	<i>Procambarus clarkii</i>	240	-	18400	3568	7366	11256	15206	19202	23236	27300	35505	[58]		
105	克氏原螯虾	<i>Procambarus clarkii</i>	240	-	34800	6748	13931	21288	28759	36318	43946	51633	67152	[58]		
106	克氏原螯虾	<i>Procambarus clarkii</i>	240	-	58500	11344	23419	35786	48345	61051	73875	86796	112884	[58]		
107	克氏原螯虾	<i>Procambarus clarkii</i>	30.32	-	1040	1755	3622	5535	7478	9443	11427	13425	17460	[59]		
108	克氏原螯虾	<i>Procambarus clarkii</i>	52.9	-	2660	2508	5177	7910	10687	13496	16330	19187	24953	[60]		
109	孔雀胎鳃	<i>Poecilia reticulata</i>	20	-	1270	3311	6835	10444	14109	17817	21560	25331	32944	[51]		
110	孔雀胎鳃	<i>Poecilia reticulata</i>	50	-	3800	3800	7845	11987	16194	20450	24746	29074	37812	[27]		
111	孔雀胎鳃	<i>Poecilia reticulata</i>	100	-	11100	5377	11100	16961	22914	28937	35015	41139	53504	[27]		
112	孔雀胎鳃	<i>Poecilia reticulata</i>	165	-	12750	3658	7552	11541	15591	19689	23824	27991	36404	[61]		
113	孔雀胎鳃	<i>Poecilia reticulata</i>	165	-	16000	4591	9478	14482	19565	24707	29897	35126	45684	[61]		
114	孔雀胎鳃	<i>Poecilia reticulata</i>	165	-	2500	717.3	1481	2263	3057	3860	4671	5488	7138	[61]		
115	孔雀胎鳃	<i>Poecilia reticulata</i>	18.72	-	170	474.9	980.4	1498	2024	2556	3093	3634	4726	[62]		
116	孔雀胎鳃	<i>Poecilia reticulata</i>	105	-	3800	1749	3611	5518	7454	9414	11391	13383	17406	[27]		

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (µg/L)		ATV <sub>II</sub> (µg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
						ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
117	孔雀胎鲮	<i>Poecilia reticulata</i>	209.2	-	11100	2485	5130	7839	10590	13373	16182	19013	24727	[27]		
118	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	20	-	4560	11888	24540	37499	50660	63974	77411	90951	118288	[51]		
119	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	35	-	6620	9613	19844	30322	40965	51731	62597	73546	95651	[24]		
120	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	35	-	7410	10760	22212	33941	45854	57904	70067	82322	107066	[24]		
121	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	200	-	48200	11310	23349	35678	48200	60868	73652	86535	112545	[24]		
122	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	35	-	11200	16263	33573	51301	69306	87521	105904	124428	161827	[24]		
123	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	200	-	76300	17904	36960	56478	76300	96353	116591	136984	178157	[24]		
124	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	20	-	1940	5057	10440	15953	21553	27217	32934	38694	50324	[51]		
125	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	20	-	2760	7195	14853	22697	30663	38721	46854	55050	71596	[51]		
126	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	207	-	21100	4776	9860	15066	20354	25704	31103	36543	47527	[63]		
127	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	67	-	8810	6487	13392	20464	27646	34912	42245	49634	64553	[13]		
128	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	44.4	-	7330	8299	17133	26180	35369	44664	54046	63499	82585	[12]		
129	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	44.4	-	6470	7326	15123	23109	31219	39424	47705	56049	72895	[12]		
130	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	44.4	-	7780	8809	18185	27788	37540	47406	57364	67397	87655	[12]		
131	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	20	-	1700	4432	9149	13980	18886	23850	28859	33907	44099	[24]		
132	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	350	-	22200	2902	5990	9153	12365	15615	18895	22200	28873	[24]		
133	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	18	-	2300	6694	13819	21117	28528	36026	43593	51218	66612	[64]		
134	鲤鱼	<i>Cyprinus carpio</i>	100	-	17050	8259	17050	26053	35197	44448	53784	63191	82184	[65]		
135	鲤鱼	<i>Cyprinus carpio</i>	312.5	-	116450	17135	35373	54052	73023	92215	111584	131101	170506	[66]		
136	鲤鱼	<i>Cyprinus carpio</i>	187.5	-	48390	12148	25077	38319	51768	65374	79105	92942	120877	[66]		

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (μg/L)		ATV <sub>II</sub> (μg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
														3	16.58	
137	鲤鱼	<i>Cyprinus carpio</i>	138	21070	-	7288	15045	22990	31058	39221	47459	55760	72520	[67]		
138	鲤鱼	<i>Cyprinus carpio</i>	185	220770	-	56205	116027	177295	239522	302471	366003	430022	559272	[68]		
139	鲤鱼	<i>Cyprinus carpio</i>	104	7925	-	3685	7607	11623	15703	19830	23995	28192	36665	[69]		
140	鲤鱼	<i>Cyprinus carpio</i>	100	17100	-	8283	17100	26130	35301	44578	53941	63376	82425	[70]		
141	鲤鱼	<i>Cyprinus carpio</i>	188.5	6500	-	1623	3350	5119	6915	8733	10567	12415	16147	[71]		
142	绿水螭	<i>Hydra viridissima</i>	19.5	3	-	8.031	16.58	25.33	34.22	43.22	52.29	61.44	79.91	[72]		
143	绿水螭	<i>Hydra viridissima</i>	210	210	-	46.83	96.67	147.7	199.6	252.0	304.9	358.3	465.9	[37]		
144	绿太阳鱼	<i>Lepomis cyanellus</i>	20	7840	-	20438	42192	64471	87100	109990	133093	156373	203373	[51]		
145	绿太阳鱼	<i>Lepomis cyanellus</i>	360	66000	-	8376	17291	26421	35695	45076	54544	64084	83346	[51]		
146	绿太阳鱼	<i>Lepomis cyanellus</i>	360	71300	-	9049	18679	28543	38561	48696	58924	69230	90039	[51]		
147	绿太阳鱼	<i>Lepomis cyanellus</i>	20	3680	-	9593	19804	30262	40883	51628	62472	73399	95461	[51]		
148	绿太阳鱼	<i>Lepomis cyanellus</i>	360	88600	-	11244	23212	35469	47918	60511	73221	86028	111885	[51]		
149	绿太阳鱼	<i>Lepomis cyanellus</i>	20	2840	-	7404	15284	23354	31551	39843	48212	56645	73671	[51]		
150	绿太阳鱼	<i>Lepomis cyanellus</i>	85.5	11520	-	6574	13570	20736	28014	35377	42808	50295	65412	[73]		
151	麦瑞加拉鲮鱼	<i>Cirrhinus mrigala</i>	72	5300	-	3620	7472	11418	15426	19480	23572	27695	36019	[74]		
152	麦瑞加拉鲮鱼	<i>Cirrhinus mrigala</i>	19.5	13700	-	36673	75706	115683	156285	197359	238813	280584	364918	[75]		
153	麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	5.8	5170	-	49180	101525	155136	209585	264667	320258	376275	489371	[76]		
154	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	89.3	6.06	-	3.304	6.821	10.42	14.08	17.78	21.52	25.28	32.88	[24]		
155	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	89.3	6.6	-	3.599	7.429	11.35	15.34	19.37	23.43	27.53	35.81	[24]		
156	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	30.7	-	1	1.665	3.438	5.253	7.097	8.962	10.85	12.74	16.57	[24]		

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (µg/L)		ATV <sub>H</sub> (µg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
157	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	30.7	0.91	-	1.515	3.129	4.781	6.458	8.156	9.869	11.60	15.08	[24]		
158	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	30.7	1.29	-	2.148	4.435	6.777	9.155	11.56	13.99	16.44	21.38	[24]		
159	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	30.2	0.96	-	1.626	3.358	5.131	6.931	8.753	10.59	12.44	16.18	[24]		
160	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	30.2	-	0.9	1.525	3.148	4.810	6.498	8.206	9.929	11.67	15.17	[24]		
161	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	30	4	-	6.824	14.09	21.53	29.08	36.72	44.44	52.21	67.90	[24]		
162	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	31.7	-	1	1.610	3.325	5.080	6.863	8.667	10.49	12.32	16.03	[24]		
163	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	30	3.6	-	6.142	12.68	19.37	26.17	33.05	39.99	46.99	61.11	[24]		
164	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	31.7	1.28	-	2.061	4.256	6.503	8.785	11.09	13.42	15.77	20.51	[24]		
165	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	30	2.89	-	4.930	10.18	15.55	21.01	26.53	32.11	37.72	49.06	[24]		
166	美洲红点鲑	<i>Salvelinus confluentus</i>	29.3	-	0.99	1.731	3.574	5.461	7.378	9.317	11.27	13.25	17.23	[24]		
167	美洲鳗鲡	<i>Anguilla rostrata</i>	55	1500	-	1358	2803	4283	5786	7307	8841	10388	13510	[77]		
168	美洲鳗鲡	<i>Anguilla rostrata</i>	55	1100	-	995.7	2055	3141	4243	5358	6484	7618	9907	[77]		
169	美洲鳗鲡	<i>Anguilla rostrata</i>	55	820	-	742.2	1532	2341	3163	3994	4833	5679	7386	[77]		
170	模糊网纹鲈	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	80	54.5	-	33.34	68.82	105.2	142.1	179.4	217.1	255.1	331.7	[78]		
171	模糊网纹鲈	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	90	-	54	29.20	60.29	92.13	124.5	157.2	190.2	223.4	290.6	[79]		
172	模糊网纹鲈	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	90	-	55.9	30.23	62.41	95.4	128.8	162.7	196.9	231.3	300.8	[80]		
173	模糊网纹鲈	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	80	64.26	-	39.31	81.15	124.0	167.5	211.5	256.0	300.8	391.2	[24]		
174	模糊网纹鲈	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	90	-	40.1	21.69	44.77	68.41	92.42	116.7	141.2	165.9	215.8	[81]		
175	模糊网纹鲈	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	172	361.1	-	99.22	204.8	313.0	422.8	533.9	646.1	759.1	987.3	[82]		
176	模糊网纹鲈	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	80	80.66	-	49.34	101.9	155.6	210.3	265.5	321.3	377.5	491.0	[82]		



序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (μg/L)		ATV <sub>II</sub> (μg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>				
						ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
177	模糊网纹蚤	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	40	31.47	-	82.04	125.4	169.4	213.9	258.8	304.1	395.4	[83]			
178	莫桑比克罗非鱼	<i>Oreochromis mossambica</i>	28.4	6000	-	22378	34194	46196	58337	70590	82937	107865	[84]			
179	莫桑比克罗非鱼	<i>Oreochromis mossambica</i>	17	1000	-	6379	9747	13168	16628	20121	23640	30746	[85]			
180	尼罗罗非鱼	<i>Oreochromis niloticus</i>	104	8075	-	7751	11843	16000	20205	24449	28725	37359	[69]			
181	尼罗罗非鱼	<i>Oreochromis niloticus</i>	107.2	19919	-	18522	28303	38237	48286	58428	68648	89281	[86]			
182	拟老年低额蚤	<i>Simocephalus vetulus</i>	45	24	-	55.32	84.53	114.2	144.2	174.5	205.0	266.6	[46]			
183	拟老年低额蚤	<i>Simocephalus vetulus</i>	67	89.3	-	135.7	207.4	280.2	353.9	428.2	503.1	654.3	[13]			
184	普通水螅	<i>Hydra vulgaris</i>	108	120	-	110.7	169.2	228.6	288.6	349.3	410.4	533.7	[87]			
185	普通水螅	<i>Hydra vulgaris</i>	204	310	-	147.1	224.8	303.6	383.4	464.0	545.1	709.0	[88]			
186	普通水螅	<i>Hydra vulgaris</i>	19.5	82.5	-	455.9	696.6	941.1	1188	1438	1690	2198	[72]			
187	普通水螅	<i>Hydra vulgaris</i>	210	520	-	239.4	365.8	494.1	624.0	755.1	887.1	1154	[37]			
188	普通水螅	<i>Hydra vulgaris</i>	210	160	-	73.65	112.5	152.0	192.0	232.3	273.0	355.0	[37]			
189	青鳉	<i>Oryzias latipes</i>	100	130	-	130.0	198.6	268.4	338.9	410.1	481.8	626.6	[27]			
190	青鳉	<i>Oryzias latipes</i>	50	350	-	722.5	1104	1492	1884	2279	2678	3483	[27]			
191	三角帆蚌	<i>Hyriopsis cumingii</i>	51.43	388	-	777.7	1188	1605	2027	2453	2882	3749	[89]			
192	三角帆蚌	<i>Hyriopsis cumingii</i>	51.43	1004	-	2012	3075	4154	5246	6348	7458	9700	[89]			
193	三角帆蚌	<i>Hyriopsis cumingii</i>	51.43	6346	-	12720	19437	26258	33159	40124	47143	61312	[89]			
194	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	11.1	900	-	8965	13699	18507	23371	28280	33226	43213	[56]			
195	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	11.1	2200	-	21914	33486	45239	57129	69128	81220	105631	[56]			
196	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	10	1300	-	14443	22069	29815	37650	45558	53527	69616	[56]			
197	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	10	2600	-	28885	44138	59629	75301	91117	107055	139232	[56]			

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (µg/L)		ATV <sub>II</sub> (µg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
														ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	
198	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	10	-	8072	16664	25464	34402	43443	52567	61762	80326	[56]			
199	苏氏尾鳃虱	<i>Branchiura sowerbyi</i>	195	-	8814	18195	27803	37561	47433	57396	67435	87704	[90]			
200	苏氏尾鳃虱	<i>Branchiura sowerbyi</i>	185	-	12360	25516	38989	52674	66517	80488	94567	122991	[91]			
201	苏氏尾鳃虱	<i>Branchiura sowerbyi</i>	185	-	21775	44951	68687	92795	117183	141796	166598	216671	[91]			
202	苏氏尾鳃虱	<i>Branchiura sowerbyi</i>	185	-	17498	36121	55195	74568	94165	113944	133874	174112	[91]			
203	苏氏尾鳃虱	<i>Branchiura sowerbyi</i>	185	-	22602	46659	71297	96321	121635	147184	172928	224904	[91]			
204	苏氏尾鳃虱	<i>Branchiura sowerbyi</i>	185	-	14771	30493	46595	62948	79492	96188	113013	146981	[91]			
205	苏氏尾鳃虱	<i>Branchiura sowerbyi</i>	185	-	21833	45072	68872	93044	117498	142177	167046	217254	[91]			
206	苏氏尾鳃虱	<i>Branchiura sowerbyi</i>	185	-	19746	40762	62287	84148	106263	128583	151073	196481	[91]			
207	苏氏尾鳃虱	<i>Branchiura sowerbyi</i>	185	-	22001	45417	69400	93758	118399	143268	168327	218921	[91]			
208	苏氏尾鳃虱	<i>Branchiura sowerbyi</i>	5.3	-	2509	5179	7914	10691	13501	16337	19194	24963	[44]			
209	唐鱼	<i>Tanichthys albonubes</i>	39.16	-	5742	11853	18112	24469	30900	37390	43930	57134	[92]			
210	唐鱼	<i>Tanichthys albonubes</i>	44.5	-	5207	10750	16427	22192	28024	33911	39842	51817	[93]			
211	条纹狼鲈	<i>Morone saxatilis</i>	285	-	0.6481	1.338	2.044	2.762	3.488	4.220	4.959	6.449	[94]			
212	条纹狼鲈	<i>Morone saxatilis</i>	475	-	0.9497	1.961	2.996	4.047	5.111	6.185	7.266	9.450	[94]			
213	条纹狼鲈	<i>Morone saxatilis</i>	40	-	5.051	10.43	15.93	21.53	27.18	32.89	38.65	50.26	[94]			
214	无鳞甲三刺鱼	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	115	-	2721	5616	8582	11594	14641	17716	20815	27071	[95]			
215	无鳞甲三刺鱼	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	107.15	-	10365	21398	32697	44173	55782	67498	79304	103141	[95]			
216	无褶螺	<i>Aplexa hypnorum</i>	44.8	-	104.3	215.3	329.1	444.6	561.4	679.3	798.1	1038	[96]			
217	无褶螺	<i>Aplexa hypnorum</i>	44.4	-	105.3	217.4	332.2	448.7	566.7	685.7	805.7	1048	[12]			

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (µg/L)		ATV <sub>II</sub> (µg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>				
						ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
218	仙女虫	<i>Nais elinguis</i>	17.89	158	-	462.8	1460	1972	2491	3014	3541	4605	[97]			
219	仙女虫	<i>Nais elinguis</i>	17.89	94	-	275.4	868.6	1173	1482	1793	2107	2740	[97]			
220	仙女虫	<i>Nais elinguis</i>	17.89	27	-	79.09	249.5	337.1	425.6	515.0	605.1	787.0	[97]			
221	仙女虫	<i>Nais elinguis</i>	17.89	74	-	216.8	683.8	923.8	1167	1412	1658	2157	[97]			
222	仙女虫	<i>Nais elinguis</i>	18.72	27	-	75.43	237.9	321.4	405.9	491.2	577.1	750.5	[62]			
223	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	43.5	1.4	-	1.619	5.109	6.902	8.715	10.55	12.39	16.11	[13]			
224	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	67	15.1	-	11.12	35.07	47.38	59.84	72.41	85.07	110.6	[13]			
225	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	37.6	2.69	-	3.624	11.43	15.44	19.50	23.60	27.73	36.06	[24]			
226	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	37.6	4.07	-	5.483	17.30	23.37	29.51	35.71	41.95	54.56	[24]			
227	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	36.9	1.87	-	2.569	8.105	10.95	13.83	16.73	19.66	25.57	[24]			
228	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	37.6	4.09	-	5.510	17.38	23.48	29.65	35.88	42.16	54.83	[24]			
229	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	37.6	2.37	-	3.193	10.07	13.61	17.18	20.79	24.43	31.77	[24]			
230	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	37.6	2.31	-	3.112	9.817	13.26	16.75	20.27	23.81	30.97	[24]			
231	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	37.6	4.65	-	6.265	19.76	26.70	33.71	40.79	47.93	62.34	[24]			
232	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	48	2.85	-	2.974	9.382	12.68	16.01	19.37	22.76	29.60	[24]			
233	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	29.2	1.23	-	2.159	6.809	9.20	11.62	14.06	16.52	21.48	[98]			
234	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	67.6	3.9	-	2.845	8.975	12.12	15.31	18.53	21.77	28.31	[98]			
235	亚东溲	<i>Salmo trutta</i>	151	10.1	-	3.180	10.03	13.55	17.11	20.71	24.33	31.64	[98]			
236	摇蚊幼虫	<i>Chironomus riparius</i>	124	140000	-	54156	170835	230794	291449	352665	414352	538891	[99]			
237	摇蚊幼虫	<i>Chironomus riparius</i>	170	128840	-	35833	113034	152706	192840	233344	274159	356562	[100]			
238	摇蚊幼虫	<i>Chironomus riparius</i>	10	331000	-	1781316	5619098	7591281	9586363	1159988	1362887	1772524	[101]			
239	摇蚊幼虫	<i>Chironomus riparius</i>	140	1106000	-	376844	1188742	1605965	2028032	2454001	2883241	3749845	[101]			

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (µg/L)		ATV <sub>H</sub> (µg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
240	银鲑	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	22	2	-	4.719	9.742	14.89	20.11	25.4	30.73	36.11	46.96	[24]		
241	银鲑	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	90	10.4	-	5.625	11.61	17.74	23.97	30.27	36.63	43.03	55.97	[24]		
242	银鲑	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	22	-	17.5	41.29	85.24	130.3	176	222.2	268.9	315.9	410.9	[24]		
243	银鲑	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	22	2.7	-	6.371	13.15	20.1	27.15	34.29	41.49	48.74	63.4	[24]		
244	银鲑	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	41	3.4	-	4.184	8.638	13.2	17.83	22.52	27.25	32.01	41.63	[102]		
245	鲷鱼	<i>Aristichthys nobilis</i>	2.5	245	-	5619	11600	17725	23946	30239	36590	42990	55912	[103]		
246	鲷鱼	<i>Aristichthys nobilis</i>	2.5	540	-	12385	25566	39067	52778	66649	80648	94755	123234	[103]		
247	鲷鱼	<i>Aristichthys nobilis</i>	2.5	2250	-	51602	106526	162778	219909	277704	336033	394810	513477	[103]		
248	原螯虾	<i>Procambarus acutus</i>	44.5	368	-	415.7	858.1	1311	1772	2237	2707	3180	4136	[60]		
249	原螯虾	<i>Procambarus acutus</i>	45.8	3070	-	3365	6947	10615	14340	18109	21913	25746	33484	[60]		
250	圆形盘肠溞	<i>Chydorus sphaericus</i>	10.5	-	288	1473	3040	4646	6277	7926	9591	11269	14655	[104]		
251	圆形盘肠溞	<i>Chydorus sphaericus</i>	11.7	-	560	2557	5279	8067	10899	13763	16654	19567	25448	[104]		
252	圆形盘肠溞	<i>Chydorus sphaericus</i>	83.6	-	277	161.8	334.1	510.5	689.6	870.9	1054	1238	1610	[104]		
253	圆形盘肠溞	<i>Chydorus sphaericus</i>	11.7	-	431	1968	4063	6209	8388	10593	12817	15059	19586	[104]		
254	圆形盘肠溞	<i>Chydorus sphaericus</i>	10.5	-	244	1248	2576	3936	5318	6715	8126	9547	12416	[104]		
255	圆形盘肠溞	<i>Chydorus sphaericus</i>	83.6	-	149	87.0	179.7	274.6	371.0	468.4	566.8	666.0	866.2	[104]		
256	蚤状钩虾	<i>Gammarus pulex</i>	94.6	20	-	10.27	21.20	32.39	43.76	55.25	66.86	78.55	102.2	[105]		
257	蚤状钩虾	<i>Gammarus pulex</i>	117.4	50	-	20.48	42.28	64.60	87.28	110.2	133.4	156.7	203.8	[106]		
258	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	45	68	-	75.92	156.7	239.5	323.5	408.6	494.4	580.9	755.5	[46]		
259	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	127	87.88	-	33.16	68.45	104.6	141.3	178.4	215.9	253.7	329.9	[107]		

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>A</sub> (mg/L)	ATV (µg/L)		ATV <sub>H</sub> (µg/L)										来源
				LC <sub>50</sub>	EC <sub>50</sub>	ATV <sub>50</sub>	ATV <sub>100</sub>	ATV <sub>150</sub>	ATV <sub>200</sub>	ATV <sub>250</sub>	ATV <sub>300</sub>	ATV <sub>350</sub>	ATV <sub>450</sub>			
						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
260	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	85	99	-	56.84	117.3	179.3	242.2	305.9	370.1	434.9	565.6	[108]		
261	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	85	66	-	37.89	78.23	119.5	161.5	203.9	246.8	289.9	377.1	[109]		
262	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	85	70	-	40.19	82.97	126.8	171.3	216.3	261.7	307.5	399.9	[109]		
263	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	57	47	-	40.98	84.60	129.3	174.7	220.6	266.9	313.6	407.8	[109]		
264	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	240	-	319	61.86	127.7	195.1	263.6	332.9	402.8	473.3	615.6	[48]		
265	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	53.5	70.1	-	65.31	134.8	206.0	278.3	351.5	425.3	499.7	649.9	[110]		
266	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	40	44.96	-	56.78	117.2	179.1	242.0	305.5	369.7	434.4	565.0	[83]		
267	正颤蚓	<i>Tubifex tubifex</i>	128	3200	-	1197	2472	3777	5103	6444	7798	9162	11915	[111]		
268	正颤蚓	<i>Tubifex tubifex</i>	237	-	28550	5610	11581	17696	23907	30190	36531	42920	55821	[112]		
269	正颤蚓	<i>Tubifex tubifex</i>	5.3	320	-	3345	6905	10551	14255	18001	21782	25592	33284	[44]		
270	正颤蚓	<i>Tubifex tubifex</i>	237	-	56000	11003	22715	34710	46892	59216	71654	84187	109491	[112]		
271	正颤蚓	<i>Tubifex tubifex</i>	173	-	7950	2171	4482	6848	9252	11683	14137	16610	21603	[113]		
272	正颤蚓	<i>Tubifex tubifex</i>	305	-	8500	1283	2648	4047	5467	6904	8354	9816	12766	[113]		
273	中华大螯蛛	<i>Bufo gargarizans</i>	90	2592	-	1402	2894	4422	5974	7544	9129	10725	13949	[114]		
274	中华新米虾	<i>Neocaridina denticulata</i>	200	400	-	93.86	193.8	296.1	400.0	505.1	611.2	718.1	934.0	[115]		
275	中华新米虾	<i>Neocaridina denticulata</i>	30	230	-	392.4	810.0	1238	1672	2112	2555	3002	3905	[115]		
276	中华新米虾	<i>Neocaridina denticulata</i>	100	280	-	135.6	280.0	427.9	578.0	729.9	883.3	1038	1350	[115]		
277	中华新米虾	<i>Neocaridina denticulata</i>	400	760	-	86.39	178.3	272.5	368.2	464.9	562.6	661.0	859.6	[115]		

附录 B 镉对淡水水生生物的慢性毒性数据

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>c</sub> (mg/L)	CTV (μg/L)			CTV <sub>H</sub> (μg/L)										来源
				NOEC	LOEC	MATC	CTV <sub>50</sub>	CTV <sub>100</sub>	CTV <sub>150</sub>	CTV <sub>200</sub>	CTV <sub>250</sub>	CTV <sub>300</sub>	CTV <sub>350</sub>	CTV <sub>450</sub>			
1	奥利亚罗非鱼	<i>Oreochromis aurea</i>	145	52	-	-	27.95	41.87	53.04	62.72	71.44	79.45	86.92	100.6	[116]		
2	白斑狗鱼	<i>Esox lucius</i>	44	7.361	-	-	7.931	11.88	15.05	17.80	20.27	22.54	24.66	28.55	[117]		
3	大鳞大马哈鱼	<i>Oncorhynchus ishawytscha</i>	25	-	-	1.57	2.352	3.523	4.462	5.277	6.010	6.684	7.313	8.467	[24]		
4	大鳞大马哈鱼	<i>Oncorhynchus ishawytscha</i>	25	1.88	-	-	2.816	4.219	5.343	6.319	7.197	8.004	8.757	10.14	[24]		
5	大西洋鲑	<i>Salmo salar</i>	23.5	4.53	-	-	7.035	10.54	13.35	15.79	17.98	20.00	21.88	25.33	[118]		
6	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	100	-	-	2.25	1.502	2.250	2.850	3.370	3.839	4.269	4.671	5.408	[119]		
7	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	99	-	-	2.39	1.605	2.404	3.045	3.601	4.102	4.562	4.990	5.778	[24]		
8	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	132.5	0.3	-	-	0.1700	0.2546	0.3225	0.3814	0.4344	0.4831	0.5285	0.6119	[120]		
9	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	170	1.1	-	-	0.5389	0.8073	1.023	1.209	1.377	1.532	1.676	1.940	[121]		
10	大型蚤	<i>Daphnia magna</i>	200	-	-	0.37	0.1649	0.2470	0.3129	0.3700	0.4214	0.4687	0.5127	0.5936	[27]		
11	黑头软口鲦	<i>Pimephales promelas</i>	43.9	-	-	10	10.79	16.16	20.47	24.21	27.57	30.66	33.55	38.84	[120]		
12	黑头软口鲦	<i>Pimephales promelas</i>	201	-	-	45.92	20.41	30.57	38.72	45.79	52.15	58.00	63.45	73.46	[122]		
13	黑头软口鲦	<i>Pimephales promelas</i>	44	-	-	12.73	13.71	20.54	26.02	30.77	35.05	38.98	42.65	49.38	[123]		
14	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	217	-	-	3.58	1.521	2.279	2.887	3.414	3.888	4.324	4.731	5.477	[41]		
15	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	140	-	-	0.71	0.3896	0.5835	0.7391	0.8741	0.9956	1.107	1.211	1.403	[124]		
16	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	413.8	3.64	-	-	1.062	1.590	2.015	2.382	2.713	3.018	3.301	3.822	[41]		
17	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	140	-	-	1.85	1.015	1.521	1.926	2.278	2.594	2.885	3.156	3.654	[125]		
18	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	250	-	-	4.31	1.686	2.526	3.200	3.784	4.310	4.793	5.244	6.072	[126]		
19	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	103	-	-	1.87	1.227	1.838	2.328	2.753	3.136	3.488	3.816	4.418	[127]		

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>c</sub> (mg/L)	CTV (μg/L)			CTV <sub>H</sub> (μg/L)								来源
				NOEC	LOEC	MATC	CTV <sub>50</sub>	CTV <sub>100</sub>	CTV <sub>150</sub>	CTV <sub>200</sub>	CTV <sub>250</sub>	CTV <sub>300</sub>	CTV <sub>350</sub>	CTV <sub>450</sub>	
20	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	6.8	-	0.79	2.528	3.787	4.797	5.673	6.461	7.185	7.861	9.101	[128]	
21	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	29	-	1.39	1.910	2.861	3.623	4.285	4.880	5.428	5.938	6.875	[24]	
22	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	19.7	-	0.88	1.515	2.269	2.874	3.399	3.871	4.305	4.710	5.453	[129]	
23	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	19.7	-	1.9	3.270	4.899	6.205	7.338	8.358	9.295	10.17	11.77	[129]	
24	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	29.4	-	1.6	2.181	3.266	4.138	4.893	5.573	6.198	6.781	7.851	[129]	
25	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	46.5	-	1.47	1.534	2.297	2.910	3.441	3.919	4.359	4.769	5.521	[41]	
26	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	29	-	0.4	0.5495	0.8232	1.043	1.233	1.404	1.562	1.709	1.978	[130]	
27	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	301	-	6	2.107	3.156	3.998	4.728	5.385	5.988	6.552	7.585	[130]	
28	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	140	-	1.146	0.6288	0.9419	1.193	1.411	1.607	1.787	1.955	2.264	[125]	
29	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	101	-	1.9	1.261	1.889	2.393	2.830	3.223	3.584	3.921	4.540	[127]	
30	虹鳟	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	30	-	1.025	1.381	2.068	2.620	3.098	3.528	3.924	4.293	4.970	[24]	
31	尖头栅藻	<i>Scenedesmus acutus</i>	90	-	5	3.549	5.317	6.735	7.964	9.071	10.09	11.04	12.78	[24]	
32	近头状内蹄形藻	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	171	-	120	58.59	87.77	111.2	131.5	149.7	166.5	182.2	210.9	[24]	
33	莱哈衣藻	<i>Chlamydomonas Reinhardtii</i>	24	-	99	151.9	227.5	288.2	340.8	388.1	431.7	472.2	546.8	[131]	
34	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	147	-	4.167	2.222	3.328	4.216	4.986	5.678	6.315	6.909	7.999	[132]	
35	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	174	-	37.3	18.03	27.01	34.21	40.45	46.08	51.24	56.06	64.91	[133]	
36	蓝鳃太阳鲈	<i>Lepomis macrochirus</i>	207	49.8	-	21.75	32.59	41.27	48.81	55.59	61.83	67.64	78.31	[63]	
37	鲤鱼	<i>Cyprinus carpio</i>	188.5	-	650	299.9	449.2	568.9	672.8	766.3	852.3	932.4	1080	[71]	
38	麦瑞加拉鲮鱼	<i>Cirrhinus mrigala</i>	71.5	-	98	79.55	119.2	150.9	178.5	203.3	226.1	247.4	286.4	[134]	

序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>c</sub> (mg/L)	CTV (μg/L)			CTV <sub>H</sub> (μg/L)										来源
				NOEC	LOEC	MATC	CTV <sub>50</sub>	CTV <sub>100</sub>	CTV <sub>150</sub>	CTV <sub>200</sub>	CTV <sub>250</sub>	CTV <sub>300</sub>	CTV <sub>350</sub>	CTV <sub>400</sub>	CTV <sub>450</sub>		
39	麦瑞加拉鲮鱼	<i>Cirrhinus mrigala</i>	71.5	-	132	-	107.2	160.5	203.3	240.4	273.8	304.6	333.2	385.8	[134]		
40	美洲红点鲑	<i>Salvelinus fontinalis</i>	188	-	-	9.165	4.234	6.343	8.035	9.502	10.82	12.04	13.17	15.24	[24]		
41	美洲红点鲑	<i>Salvelinus fontinalis</i>	44	-	-	2.404	2.590	3.880	4.914	5.812	6.619	7.361	8.054	9.324	[135]		
42	美洲红点鲑	<i>Salvelinus fontinalis</i>	37	-	-	1.732	2.064	3.092	3.917	4.632	5.276	5.867	6.419	7.432	[24]		
43	美洲红点鲑	<i>Salvelinus fontinalis</i>	44	-	-	2.045	2.203	3.300	4.180	4.944	5.631	6.262	6.851	7.932	[117]		
44	模糊网纹蚤	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	270	-	-	7.259	2.716	4.068	5.153	6.094	6.940	7.719	8.445	9.777	[24]		
45	模糊网纹蚤	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	270	-	-	3.549	1.328	1.989	2.519	2.979	3.393	3.774	4.129	4.780	[24]		
46	模糊网纹蚤	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	270	-	-	6.257	2.341	3.507	4.442	5.253	5.982	6.653	7.279	8.428	[24]		
47	模糊网纹蚤	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	100	-	-	2.2	1.469	2.200	2.787	3.296	3.753	4.174	4.567	5.287	[123]		
48	模糊网纹蚤	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	170	-	-	1.93	0.9456	1.416	1.794	2.122	2.417	2.688	2.940	3.404	[136]		
49	模糊网纹蚤	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	270	-	-	2.044	0.7647	1.146	1.451	1.716	1.954	2.173	2.378	2.753	[24]		
50	模糊网纹蚤	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	270	-	-	1.602	0.5993	0.8978	1.137	1.345	1.532	1.703	1.864	2.158	[24]		
51	尼罗罗非鱼	<i>Oreochromis niloticus</i>	340	-	-	50	16.35	24.50	31.03	36.70	41.79	46.48	50.85	58.88	[137]		
52	尼罗罗非鱼	<i>Oreochromis niloticus</i>	340	-	-	50	16.35	24.50	31.03	36.70	41.79	46.48	50.85	58.88	[138]		
53	青鲮	<i>Oryzias latipes</i>	82.5	-	-	2.879	2.150	3.221	4.080	4.825	5.496	6.112	6.687	7.742	[139]		
54	蜻蜓幼虫	<i>Pachydiplax longipennis</i>	120	-	8249	-	4952	7417	9395	11111	12654	14073	15397	17826	[140]		
55	无褶螺	<i>Aplexa hypnorum</i>	45.3	-	-	5.801	6.145	9.204	11.66	13.79	15.70	17.46	19.11	22.14	[96]		
56	无褶螺	<i>Aplexa hypnorum</i>	45.3	-	-	3.46	3.665	5.490	6.954	8.224	9.366	10.42	11.40	13.19	[96]		
57	小球藻	<i>Chlorella vulgaris</i>	90	-	-	5	3.549	5.317	6.735	7.964	9.071	10.09	11.04	12.78	[24]		



序号	物种名称	物种拉丁名	H <sub>c</sub> (mg/L)	CTV (μg/L)			CTV <sub>H</sub> (μg/L)								来源
				NOEC	LOEC	MATC	CTV <sub>50</sub>	CTV <sub>100</sub>	CTV <sub>150</sub>	CTV <sub>200</sub>	CTV <sub>250</sub>	CTV <sub>300</sub>	CTV <sub>350</sub>	CTV <sub>450</sub>	
58	亚东鲑	<i>Salmo trutta</i>	44	-	-	6.668	7.184	10.76	13.63	16.12	18.36	20.42	22.34	25.86	[117]
59	亚东鲑	<i>Salmo trutta</i>	250	-	-	16.49	6.452	9.665	12.24	14.48	16.49	18.34	20.06	23.23	[126]
60	亚东鲑	<i>Salmo trutta</i>	149	-	-	13.56	7.174	10.75	13.61	16.10	18.34	20.39	22.31	25.83	[98]
61	亚东鲑	<i>Salmo trutta</i>	71.3	-	-	6.36	5.171	7.747	9.812	11.60	13.22	14.70	16.08	18.62	[98]
62	亚东鲑	<i>Salmo trutta</i>	30.6	-	-	3.52	4.687	7.020	8.893	10.52	11.98	13.32	14.57	16.87	[98]
63	亚东鲑	<i>Salmo trutta</i>	36.9	-	-	1.33	1.588	2.378	3.013	3.563	4.058	4.513	4.937	5.716	[24]
64	亚东鲑	<i>Salmo trutta</i>	37.6	-	-	0.4	0.4723	0.7075	0.8962	1.060	1.207	1.342	1.469	1.700	[124]
65	银蛙	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	44	2.102	-	-	2.265	3.392	4.297	5.082	5.788	6.437	7.042	8.153	[117]
66	蚤状蚤	<i>Daphnia pulex</i>	106	5	-	-	3.226	4.833	6.122	7.240	8.245	9.170	10.03	11.62	[141]
67	蚤状蚤	<i>Daphnia pulex</i>	65	-	-	7.49	6.428	9.628	12.20	14.42	16.43	18.27	19.99	23.14	[24]