



水生生物水质基准 理论与应用

SHUISHENG SHENGWU SHUIZHI JIZHUN
LILUN YU YINGYONG

◎ 闫振广 刘征涛 孟伟 等编著



化学工业出版社

水生生物水质基准 理论与应用

SHUI SHENG SHENG WU SHUI ZHI JI ZHUN
LILUN YU YINGYONG

◎ 闫振广 刘征涛 孟伟 等编著



化学工业出版社

本书针对保护水生生物的水环境质量基准的理论和方法进行了研究,包括水生生物基准受试生物筛选、水生生物物种敏感度研究、水生生物基准关键技术研究等,并以多种重金属、氨氮和石油等重点污染物为例开展了水生生物基准的案例研究,总结示范了水生生物基准的理论方法,在我国水环境基准研究领域具有重要意义。

本书可供环境保护相关科技人员及环境管理部门人员参考,也可供高等学校环境及相关专业师生参考。



图书在版编目(CIP)数据

水生生物水质基准理论与应用/闫振广,刘征涛,孟伟等编著. —北京:化学工业出版社,2014.5
ISBN 978-7-122-19927-0

I. ①水… II. ①闫…②刘…③孟… III. ①水生生物-水质标准-研究 IV. ①Q17②X824

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 039096 号

责任编辑:刘兴春 孙 浩
责任校对:顾淑云 程晓彤

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张18 字数432千字 2014年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:85.00 元

版权所有 违者必究

《水生生物水质基准理论与应用》

编著人员

闫振广 刘征涛 孟 伟 郑 欣 张亚辉 王伟莉
王晓南 何 丽 蔡 靳 覃璐玫 武江越 张 娟
余若祯 杨霓云 王一喆 张继伟 姚泓名 周腾耀
高 富 姚庆祯 梁丽君 刘婷婷

前言

自“十一五”我国启动系统的水环境基准研究以来，水环境基准研究逐渐成为我国环境科学研究领域的热点之一。本课题组在重大水专项等项目课题的支持下，经过 5 年多的系统研究，取得了一定的研究进展和成果。本书对于课题组在保护水生生物的水质基准研究方面取得的主要进展进行了总结，以与同行共勉。书名为简洁起见，用了“水生生物水质基准”的说法，对应于美国环保局基准文件中的用词“Aquatic life criteria”，其全义为“保护水生生物的水环境质量基准”。

本书内容主要包括水环境基准研究的受试生物筛选、我国本土水生生物的物种敏感度研究、“最少毒性数据需求”等数项水生生物基准关键技术研究，以及水生生物基准阈值研究的部分案例。其中受试生物筛选研究在国内外较少见到报道，而在我国水环境基准研究中为突破本土数据匮乏的瓶颈又迫切需要筛选本土物种，因此将其作为本书重点内容之一具有较好的创新性，当然结论仍有一定的不确定性，需要后续不断验证和深入研究。在基准阈值案例研究中，本书选取了典型重金属、氨氮、有毒有机物等重点污染物，展示了当水质参数与污染物生物毒性无明显相关性，以及分别有 1 项（如水体硬度对镉）和 2 项（如水体温度和 pH 值对氨氮）水质参数对污染物毒性有显著影响时，水生生物基准阈值定值的技术方法，对分类开展我国污染物基准阈值研究具有一定的借鉴意义。

我国水环境基准研究发展至今，可对其发展历程进行粗略划分：“十一五”以前，相当于起始阶段，主要是自发学习、介绍国外基准技术，部分学者开展了零星的本土基准研究；从“十一五”开始，我国政府启动了系统的水环境基准研究计划，水环境基准研究在我国蓬勃发展，这一时期的主要特征是系统学习和借鉴国外先进基准技术方法，初步构建我国水环境基准技术框架；目前进入“十二五”阶段，对水环境基准的研究更加深入，而且越来越多地体现出我国的本土特色，朝着构建具有我国特色的水环境基准/标准技术体系的目标迈进，希望本书的出版能融入这一进程，为其添砖加瓦。

本书第一章由闫振广、郑欣、张亚辉、王伟莉、王晓南、蔡靳、覃璐玫、姚泓名、刘婷婷完成；第二章由闫振广、王伟莉和王晓南完成；第三章由闫振广、刘征涛、张亚辉、王晓南、周腾耀完成；第四章由孟伟、闫振广、刘征涛、何丽、张继伟、王伟莉、蔡靳、张娟、余若祯、姚庆祯、杨霓云、王一喆、高富、梁丽君完成；附录由武江越完成；全书由孟伟和闫振广统稿、定稿。对上述人员的辛勤付出表示感谢！

本书是在国家水体污染控制与治理科技重大专项（2012ZX07501-003）及中国环科院改革启动专项课题（2011GQ-02）研究成果的基础上编著完成的，并由以上项目资助出版，特此致谢！

由于课题组系统开展水环境基准研究的时间尚短，对环境基准的理解还有待进一步深入，书中如有不足之处，请读者多批评指正！

编著者

2014 年 1 月

目 录

第一章 水生生物基准受试生物筛选 /1

第一节 本土鱼类受试生物筛选	1
一、本土鱼类概述	1
二、材料与方法	2
三、结果与讨论	3
四、结论	11
参考文献	11
第二节 本土两栖类受试生物筛选	13
一、本土两栖类概述	13
二、本土代表性两栖类	14
三、两栖类受试生物筛选	20
四、结论	26
参考文献	26
第三节 本土甲壳类受试生物筛选	28
一、本土甲壳类概述	28
二、本土代表性甲壳类	30
三、甲壳类受试生物筛选	41
参考文献	60
第四节 本土软体动物受试生物筛选	69
一、本土软体动物概述	69
二、典型本土代表性软体动物	70
三、软体动物受试生物筛选	74
四、结论	83
参考文献	83
第五节 本土环节动物受试生物筛选	85
一、本土水生环节动物概述	85
二、本土代表性水生环节动物	87

三、环节动物受试生物筛选	93
四、结论	100
参考文献	101
第六节 本土水生昆虫受试生物筛选	104
一、本土水生昆虫概述	104
二、本土代表性水生昆虫	104
三、水生昆虫受试生物筛选	111
四、结论	114
参考文献	114
第七节 其他水生动物受试生物筛选	115
一、轮虫	115
二、水螅	120
三、涡虫	124
参考文献	127
第八节 本土大型水生植物受试生物筛选	129
一、本土大型水生植物概述	129
二、本土代表性大型水生植物	129
三、大型水生植物受试生物筛选	131
四、结论	137
参考文献	137
第九节 本土浮游藻类受试生物筛选	138
一、概述	138
二、浮游藻类受试生物筛选	139
三、结论	144
参考文献	144

第二章 水生生物物种敏感度研究 /146

第一节 常见底栖动物物种敏感度分析	146
一、概述	146
二、材料与方法	147
三、结果	147
四、讨论	150
五、结论	152
参考文献	152
第二节 麦穗鱼物种敏感度分析	153
一、概述	153
二、材料和方法	154
三、结果	155
四、讨论	157

五、结论	157
参考文献	158
第三节 基于基因表达效应的物种敏感度分析	159
一、概述	159
二、材料与方法	160
三、结果	161
四、讨论	163
参考文献	164

第三章 水生生物基准关键技术研究 /167

第一节 “三门六科”最少毒性数据需求分析	167
一、概述	167
二、材料与方法	168
三、结果与讨论	169
四、结论	172
参考文献	172
第二节 以氨氮为例若干水质基准方法问题探讨	174
一、概述	174
二、氨氮毒性数据搜集与筛选	174
三、基于不同分类阶元的 SSD 数据分析	174
四、MTDR 分析	179
五、利用 BER 技术修订国外水质基准的探讨	180
六、讨论	181
参考文献	181
第三节 应用生物配体模型研究水体中铜对大型溞的急性毒性	183
一、概述	183
二、材料与方法	183
三、结果与分析	184
四、讨论	186
五、结论	187
参考文献	187
第四节 辽河流域氨氮应急水质标准转化探讨	189
一、概述	189
二、数据搜集与筛选	189
三、水生生物基准推算	191
四、辽河流域氨氮水质管理探讨	192
五、讨论	193
六、结论	194
参考文献	194

第四章 水生生物基准案例研究 /197

第一节 氨氮水生生物基准阈值研究	197
一、概述	197
二、材料与方法	198
三、结果与分析	198
四、讨论	202
五、结论	204
参考文献	204
第二节 镉水生生物基准阈值研究	205
一、概述	205
二、材料与方法	206
三、数据收集	207
四、数据分析与计算	212
五、镉基准推导与表述	216
六、讨论	219
参考文献	219
第三节 铅水生生物基准阈值研究	224
一、概述	224
二、材料与方法	225
三、结果	226
四、讨论	229
五、结论	230
参考文献	230
第四节 甲基汞水环境安全阈值研究	232
一、概述	232
二、试验材料和方法	233
三、结果与讨论	233
四、结论	236
参考文献	236
第五节 典型流域镉基准阈值研究	237
一、概述	237
二、材料与方法	238
三、结果	239
四、讨论	245
参考文献	246
第六节 氨氮海水质量基准阈值研究	247
一、概述	247
二、材料与方法	248
三、结果与分析	250

四、讨论	252
五、结论	252
参考文献	253
第七节 石油污染物海水质量基准阈值研究	254
一、概述	254
二、材料与方法	255
三、结果与分析	256
四、讨论	257
五、结论	259
参考文献	259
第八节 北部湾原油海水质量基准阈值研究	260
一、概述	260
二、材料与方法	260
三、结果与分析	262
四、讨论	263
五、结论	264
参考文献	264
附录 1 美国 2013 版国家水质基准	266
附录 2 欧盟水环境质量标准限值	276



第一章

水生生物 基准受试生物筛选

第一节 本土鱼类受试生物筛选

一、本土鱼类概述

鱼类作为水生生态系统中的消费者，在生态系统中扮演着重要的角色，它以浮游生物为食，把初级生产量转化为次级生产量，通过摄食控制食物链中低层营养级生物种群的数量，影响食物链中的物质循环与能量流动，鱼类也具有减轻赤潮、水华等水环境恶化现象的作用。

我国共有淡水（包括沿海河口）鱼类约 1050 种，分属于 18 目 52 科 294 属。其中纯淡水鱼类 967 种，海河洄游性鱼类 15 种，河口性鱼类 68 种^[1]。内陆水域淡水鱼类约有 800 余种，其中，鲤科最多，有 400 余种，约占全部淡水鱼的 1/2；鲶科和鳅科共有 200 余种，约占全部淡水鱼的 1/4；其他如虾虎科、鳢科及合鳃科等共有 200 余种，约占全部淡水鱼的 1/4^[1~2]。

我国淡水鱼类主要由八个区系复合体构成^[3]，各区系有其代表性种类：①中国平原区系复合体，代表性种类有青鱼、草鱼、鲢、鳙、鳊、鲂、红鲃、鲴、马口鱼、鱮、蛇鮈、突吻鮈、鳅、似白鮈、似鮈、颌须鮈、鮠、赤眼鳟、鳊、鲮、鲟、鲟鱼等；②南方平原区系复合体，代表性种类有鳊属、鳊类、黄鳊、青鳊、刺鳊、胡子鲇、鲮、土鲮；③南方山区系复合体，有平鳍鳅科、鲃头鳅科、鲃科；④中亚山区系复合体，代表种类是裂腹鱼亚科的所有种类和条鳅亚科的某些种类；⑤北方平原区系复合体，代表种类有鮈属、狗鱼、雅罗鱼、银鲫、湖鳊等；⑥晚第三纪早期区系复合体，代表性种类有七鳃鳗属、鳊、苏氏鳊、鳊鳊属、泥鳅、鲃和六须鲃等；⑦北方山区系复合体，本复合体包括细鳞鱼、哲罗鱼、茴鱼、真鳊、杜父鱼等；⑧北极淡水区系复合体，代表种类包括白鲑、红点鲑、江鳊等。除全国的广布种外，各地水域中也有本地区常见种类。黑龙江及其支流中的鱼类约有

90 种, 其中鲤科鱼类约有 50 种。黑龙江多产冷水性鱼类, 经济意义较大的种类有哲罗鱼、细鳞鱼、乌苏里白鲑、北极茴鱼、鲟鱼、达氏鳇、狗鱼及洄游性的大马哈鱼等。随着地理位置南移, 江河中的温带鱼类越来越多, 冷水性鱼类则逐渐减少。辽河水系约有鱼类 70 种, 其上游有北方鱼类类群; 黄河水系约有 140 种, 长江水系约有 300 种, 二者的冷水鱼类极少, 鲟鱼属于特有种; 珠江水系的鱼类共约 260 余种, 华南地区特有的种属有鲮鱼、直口鲮、唐鱼、华南鲤等^[1]。

鱼类作为水生生态系统中的重要类群, 具有重要经济价值, 也是环境污染物毒性效应研究的理想试验动物, 美国、澳大利亚、欧盟等发达国家和地区的水质基准技术中均要求使用鱼类的毒性数据以加强对鱼类的保护^[4~7], 对于水生生物基准, 美国规定至少选择来自三门八科的水生生物, 其中至少包含 2 种鱼类。虽然各国都规定了水质基准受试生物的种类, 但对于敏感受试生物的筛选研究尚未见报道。即使是水质基准技术先进的美国, 也仅在 1985 年发行的水生生物基准技术指南^[4]中罗列了推荐的北美受试生物名录, 但对众多物种的污染物敏感性则未见分析和说明。我国水质基准研究还处于初级阶段, 本土物种的筛选和毒性测试是水生生物基准推导的关键要素之一^[8~9]。本研究在考虑分布范围、区域代表性、经济价值及物种敏感性等因素的基础上, 利用物种敏感度分析方法和生态毒理数据分析, 对水质基准的本土受试鱼类进行了筛选研究, 为水环境基准推导中本土受试生物的选择提供参考。

二、材料与方法

(一) 本土代表性鱼类筛选

主要依据《中国脊椎动物大全》^[1]、《中国经济动物志——淡水鱼类》^[2]、各地方动物志(如《太湖鱼类志》^[10])及公开发表的相关文献, 对我国本土鱼类区系的分布进行梳理。主要依据为物种的地理分布范围, 要求至少在我国两个流域有分布, 同时兼顾物种的区域代表性进行初步筛选, 在此基础上, 搜集评价鱼类生物的污染物毒性数据丰度, 选取至少包含 3 种污染物毒性数据的鱼类作为本土代表性鱼类。

(二) 鱼类毒性数据的搜集筛选

参照水生生物基准的数据筛选原则^[4], 筛查 ECOTOX、Web of Science、TOXNET、CNKI 等数据库及公开发表的文献中各类污染物对本土代表性鱼类的急性毒性数据。数据筛选的主要原则包括: 要有明确的测试终点、暴露时间及试验条件的相关描述, 毒性试验指标为 96h-LC₅₀, 优先选择流水式试验及对试验溶液浓度有监控的毒性数据, 同生物属的急性毒性数据如果差异过大需谨慎使用等。

(三) 数据分析与基准受试鱼类确定

对筛选得到的急性毒性数据进行整理和排序, 同一种鱼类有多个毒性值时, 使用几何平均值, 即 SMAV (Species mean acute values, 种平均急性毒性值), 对同种鱼的不同污染物的 SMAV 进行排序, 获得对鱼类毒性最大的污染物类别。参考上述数据筛选原则, 重新筛选毒性最大的污染物的急性毒性数据, 进行鱼类物种敏感度分析, 得出对相应污染物敏感(累积概率小于 15%) 的鱼类作为水质基准研究受试鱼类。

三、结果与讨论

(一) 本土鱼类的筛选

依据鱼类地理分布范围和区域代表性, 参照《中国脊椎动物大全》^[1]和《中国经济动物志——淡水鱼类》^[2]等文献资料, 筛选出 49 种在我国分布广泛的代表性鱼类(数据未展示), 然后在 CNKI 和 ECOTOX 等数据库及公开发表的文献中搜集鱼类急性毒性数据, 进一步筛选出至少具有 3 种污染物毒性数据的 17 种代表性鱼类, 分属 10 科, 如表 1-1 所列, 包括鲤科 8 种, 亚口鱼科、鳅科、鲮科、鲢科、合鳃鱼科、鲶科、真鲈科、鳊鱼科和鲟科各 1 种。

表 1-1 我国本土代表性鱼类及其分布范围

鱼类	科	属	拉丁名	区域分布
鲤鱼	鲤科	草鱼属	<i>Cyprinus carpio</i>	各大水系
青鱼	鲤科	青鱼属	<i>Mylopharyngodon piceus</i>	主要在长江以南平原地区
草鱼	鲤科	草鱼属	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>	平原地区的江河湖泊
鲢鱼	鲤科	鲢属	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	各大水系
鳊鱼	鲤科	鳊属	<i>Aristichthys nobilis</i>	各大水系
鲫鱼	鲤科	鲫属	<i>Carassius auratus</i>	除西部高原的各大水系
麦穗鱼	鲤科	麦穗鱼属	<i>Pseudorasbora parva</i>	各大水系
中华鲮鱼	鲤科	鲮鱼属	<i>Rhodens sinensis</i>	海河、黄河、长江、珠江等
胭脂鱼	亚口鱼科	胭脂鱼属	<i>Myxocyprinus asiaticus</i>	长江及其附属湖泊、闽江
泥鳅	鳅科	泥鳅属	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	除青藏高原的各水系
鲮鱼	鲮科	鲮属	<i>Mugil cephalus</i>	各河口均有分布
黄颡鱼	鲢科	黄颡鱼属	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	除西部高原和新疆的各水系
黄鳝	合鳃鱼科	黄鳝属	<i>Monopterus albus</i>	除西北高原的各水系
鲶鱼	鲶科	鲶属	<i>Silurus asotus</i>	分布于广大流域
鳊鱼	真鲈科	鳊属	<i>Siniperca chuatsi</i>	华北、华东和华南等地
鳊鱼	鳊鱼科	鳊鱼属	<i>Anguilla japonica</i>	黄河、长江、闽江及珠江及海南岛、台湾和东北等
中华鲟	鲟科	鲟属	<i>Acipenser sinensis</i>	主要分布于长江中下游

我国的淡水鱼类以暖水鱼为主^[1~2], 本研究筛选出的本土鱼类都属暖水鱼类(表 1-1), 在我国分布较广泛; 我国冷水鱼类比例相对较少, 多分布于黑龙江、松花江等, 如大马哈鱼、东北雅罗鱼、三角鲂、茴鱼等。我国特有鱼类多无毒性数据, 国内研究也较少, 原因可能是一些特有种, 如鲟鱼是国家重点保护物种, 污染物的毒性实验受到限制。

(二) 目标污染物的确定

对每种鱼的急性毒性数据分析排序, 分别得到毒性最大的 3 种污染物, 如表 1-2 所列。由表 1-2 可知, 毒性最大的污染物共包括 19 种污染物, 主要分为农药、氯酚类、重金属和分子氨。农药包括菊酯类、有机磷和有机氯农药等; 重金属包括铜、镉和无机汞。除青鱼、鳊鱼和中华鲮鱼外, 对鲤科其他鱼类毒性最大的 3 种污染物均包括菊酯类农药, 说明鲤科鱼类对这类农药都很敏感。此外, 鲮鱼、黄鳝、鳊鱼、鲶鱼和鳊鱼对菊酯类的敏感度也相对较高, 对鲤科鱼类毒性最大的污染物中, 无机汞对鲫鱼毒性强, 而非鲤科鳊鱼、黄颡鱼、鲶鱼及中华鲮鱼均对重金属汞敏感度高; 铜对泥鳅、鳊鱼、中华鲟和中华鲮鱼毒性较强, 镉对鳊鱼和中华鲮鱼毒性较强; 有机磷农药中三唑磷对草鱼、麦穗鱼和胭脂鱼毒性较强; 其他有机磷农药对鲤科鱼类均有较高毒性, 而鲤鱼、青鱼、鲮鱼对有机氯农药硫丹、异狄氏剂、五氯酚、三氯酚敏感度高。

表 1-2 对 17 种鱼毒性最大的 19 种污染物

鱼类	污染物	SMAV/($\mu\text{g/L}$)	浓度范围/($\mu\text{g/L}$)	数据来源
鲤鱼 <i>Cyprinus carpio</i>	硫丹	0.1	0.07~0.21	ECOTOX
	福美双	0.3	—	ECOTOX
	氰戊菊酯	0.63	—	[11]
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	五氯酚	110	100~120	[12]
	分子氮	540	—	[13]
	三氯酚	1220	1120~1320	[12]
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	三唑磷	0.00068	—	[14]
	氯氰菊酯	1.13	—	[15]
	硫丹	1.42	—	[16]
鲢鱼 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	甲氰菊酯	0.37	—	[17]
	溴氰菊酯	0.39	—	[17]
	抗霉素 A	0.83	—	ECOTOX
鳙鱼 <i>Aristichthys nobilis</i>	敌敌畏	8.06	5.32~11.49	ECOTOX
	氧化乐果	66.7	54.21~82.27	ECOTOX
	镉	280	245~320	[18],[19]
鲫鱼 <i>Carassius auratus</i>	溴氰菊酯	0.34	—	[20]
	甲氰菊酯	0.51	—	[17]
	无机汞	0.7	—	[21]
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	三唑磷	5.66	4~8	[22]
	溴氰菊酯	6.35	5.6~7.2	[23]
	毒死蜱	27.3	—	ECOTOX
胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>	氰戊菊酯	2	—	[24]
	阿维菌素	21.8	—	[25]
	三唑磷	49	59.8~77	[24]
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	敌敌畏	6.4	—	[26]
	阿维菌素	31	—	[27]
	铜	48	—	[28]
鳊鱼 <i>Mugil cephalus</i>	异狄氏剂	0.3	—	ECOTOX
	硫丹	0.38	0.35~0.47	ECOTOX
	氰戊菊酯	0.58	0.41~1	ECOTOX
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	敌敌畏	4.16	2.06~6.15	[29]
	氧化乐果	15.78	12.28~17.67	[29]
	无机汞	26.6	—	[30]
黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	氯氰菊酯	0.021	—	[31]
	溴氰菊酯	6.4	—	[32]
	阿维菌素	67.8	59.8~77	[33]
鲶鱼 <i>Silurus asotus</i>	溴氰菊酯	21.5	—	ECOTOX
	阿维菌素	24	—	ECOTOX
	无机汞	28.2	—	ECOTOX
鳊鱼 <i>Siniperca chuatsi</i>	氰戊菊酯	20	—	[34]
	无机汞	130	—	[35]
	分子氮	193	—	[36]
鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>	甲氰菊酯	6.55	—	[37]
	溴氰菊酯	7.67	—	[38]
	铜	74	—	ECOTOX
中华鲟 <i>Acipenser sinensis</i>	阿维菌素	5.04	—	ECOTOX
	铜	39	22~70	[39]
	分子氮	390	300~450	[39]
中华鲮鱼 <i>Rhodens sinensis</i>	无机汞	193	—	[40]
	铜	236	—	[40]
	镉	7270	—	[40]

(三) 污染物物种敏感性分析

搜集、筛选对 17 种鱼类毒性最大的 19 种污染物的急性毒性数据, 绘制各污染物的物种敏感度分布图, 如图 1-1 所示。根据国家环保局 1986 年制定的《生物监测技术规范(水环境部分)》^[41] 的污染物毒性分级标准, 2,4,6-三氯酚对青鱼和鲮对中华鲮鱼为高毒, 其他污染物对鱼类均为剧毒。

推算水生生物水质基准的根本目的是保护水生生物, 对目标污染物敏感的水生生物在很大程度上决定了水质基准值^[42]。依据水质基准推导的物种选择要求^[43], 应该优先选择敏感性物种, 设定它们能够承受的污染物水平, 也就能够保护其他较不敏感物种的安全。目前国内外关于基准研究的敏感受试生物筛选的研究不多, 根据累积概率对物种敏感性分类的研究尚未见报道, 按照水质基准技术方法, 胁迫 5% 生物的污染物浓度为水质基准阈值^[4], 另前人研究表明累积概率超过 15% 会对水生生物及群落造成“一定风险”, 超过 30% 时有明显风险, 累计概率超过 50% 时会有严重风险^[44], 据此, 本书设定鱼类物种敏感度与累积概率关系为: 累积概率小于 5% 为非常敏感, 大于 5% 小于 15% 时属敏感, 大于 15% 小于 30% 时较敏感, 大于 50% 时不敏感。敏感鱼类可以被推荐为基准受试生物。

在重金属的鱼类敏感性排序中, 各科鱼类排序差别较大, 大都以鲤科鱼类最为敏感, 对于重金属铜, 鲤科敏感性排序为鲢鱼>草鱼>鲫鱼>鳙鱼>鲤鱼>麦穗鱼>中华鲮鱼, 中华鲮对铜的敏感性仅次于鲢鱼; 对于重金属汞, 鲤科中鲫鱼最敏感, 中华鲮鱼、麦穗鱼、草鱼、鲤鱼均对汞不敏感, 鲫鱼、黄颡鱼和鲶鱼对汞的累积概率小于 30%, 相对较敏感; 而对于重金属镉, 鲤科中鳙鱼最敏感, 累积概率小于 15%, 鲤科鱼敏感性排序为鳙鱼>鲫鱼>草鱼>鲤鱼>麦穗鱼>中华鲮鱼。鲤鱼对铜和汞的累积概率均超过 30%, 敏感性较低, 泥鳅对铜较为敏感, 但对汞和镉最不敏感。对中华鲮鱼毒性最大的均为重金属, 但该鱼在重金属的物种敏感分布中属于不敏感鱼类。

对于有机磷农药, 鲤科鱼表现出不同的敏感性, 如对于毒死蜱和三唑磷, 最敏感的均为鲤科鱼, 以鲢鱼和草鱼最敏感, 对于阿维菌素、敌敌畏、敌百虫、氧化乐果, 除鳙鱼外鲤科鱼类的耐受力较高, 中华鲮、胭脂鱼对阿维菌素比较敏感。黄颡鱼和鳙鱼对敌百虫和氧化乐果较为敏感, 可作为此种农药的敏感性受试物种。

由溴氰菊酯、氯氰菊酯、氰戊菊酯、甲氰菊酯的鱼类敏感性排序(图 1-1)可知, 拟除虫菊酯农药对鱼类的毒性效应很大, 尤其对鲤科鱼毒性最高, 鲤鱼和鲢鱼敏感度较高; 非鲤科中黄鳝对氯氰菊酯、鳊鱼对氰戊菊酯的敏感性最高。泥鳅对每种菊酯类农药的累积概率均超过 80%, 耐受力较强。

有机氯农药硫丹的鱼类敏感性分布中, 鳊鱼属于敏感物种, 可作为推导水质基准理想的受试鱼类。三氯酚、五氯酚和氨对青鱼毒性最大, 然而在这 3 种污染物的鱼类敏感性排序中, 青鱼均属于不敏感物种, 这可能是由于有机氯农药对本土鱼类毒性的研究较少, 毒性数据不足。青鱼和鲫鱼在三氯酚、五氯酚以及异狄氏剂的物种敏感排序中处于较不敏感的位置, 根据相同污染物对同一科鱼类毒性作用的相似性, 初步推断鲤科鱼类对这几种有机氯农药较不敏感。硫丹是对鲤鱼毒性最大的污染物, 在硫丹的鱼类敏感性比较中, 鳊鱼、草鱼较鲤鱼更敏感。

