

松辽流域水资源保护系列丛书（四）

Key Technologies of Monitoring,
Evaluation and Bioremediation of Typical River
Lake in Heilongjiang Province

黑龙江省典型河湖水生态 监测、评价与修复关键技术

郑国臣 张静波 冯玉杰 等/著

 科学出版社

松辽流域水资源保护系列丛书（四）

黑龙江省典型河湖水生态 监测、评价与修复关键技术

郑国臣 张静波 冯玉杰 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书通过调查黑龙江省典型河湖水生生物情况,构建黑龙江省典型河湖水生态风险预警系统,开展黑龙江省典型河湖水生态监测、评价与修复技术,探讨黑龙江省水生态文明建设思路等。主要内容包括:河湖水生生物监测方法及规程、黑龙江省典型湖库水生态调查、黑龙江省典型河流水生生物调查、嫩江流域典型区域水生态风险评价、嫩江流域示范区水生态风险预警与决策、叶绿素a测定方法的研究实验、低污染水源生物菌剂的构建及其应用和黑龙江省水生态文明建设。

本书可供生态水利领域从事水生态文明建设研究等的科研人员及管理人员参阅,并可用于大专院校有关专业教师、研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

黑龙江省典型河湖水生态监测、评价与修复关键技术 / 郑国臣等著.
—北京:科学出版社,2016.6

松辽流域水资源保护系列丛书(四)

ISBN 978-7-03-048679-0

I. ①黑… II. ①郑… III. ①河流-水环境-环境监测-黑龙江省②河流-水环境质量评价-黑龙江省③湖泊-水环境-环境监测-黑龙江省④湖泊-水环境质量评价-黑龙江省 IV. ①X832②X824

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第131697号

责任编辑:张震 孟莹莹/责任校对:刘亚琦

责任印制:张倩/封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第一版 开本:720×1000 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:16 1/2 插页6

字数:295 000

定价:99.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

编著委员会名单

主任:

郑国臣 (松辽流域水资源保护局)

张静波 (松辽流域水资源保护局)

副主任:

冯玉杰 (城市水资源与水环境国家重点实验室
哈尔滨工业大学)

周绪申 (海河流域水环境监测中心)

刘冰峰 (城市水资源与水环境国家重点实验室
哈尔滨工业大学)

参加编写人员:

官 涤 (哈尔滨工程大学航天与建筑学院)

金 羽 (东北农业大学资源与环境学院)

邵文彬 (松辽流域水资源保护局)

吴 戈 (水利部综合事业局)

张继民 (松辽流域水资源保护局)

戴 欣 (松辽流域水资源保护局)

前 言

水在生态系统中居于中心地位。水生态监测及评价是水生态保护的关键和基础，也是确保水生态安全、分析水体变化趋势的前提。由于水生生物是生态环境的重要组成部分，直接反映了环境变化对生物的危害程度，有效实现水环境监测目的。因此，开展水生生物的监测势在必行。水生生物评价法的优势如下：①理化指标的监测只能在特定条件下检测水环境中污染物的类别和含量，而生物监测可以反映出多种污染物在自然条件下对生物的综合影响；②理化监测只能代表取样期间的污染情况，而在一定区域内生活的生物，却可以将长期的污染状况反映出来；③与理化监测相比，生物监测更具多功能性，因为一种生物可以对不同的污染物产生反应而表现出不同症状，可以有效简洁地辨析污染物类别及来源；④生物处于生态系统中，通过食物链可以把环境中微量有毒物质予以富集，当到达该食物链末梢时，可将污染物浓度提高数万倍，因此，通过对富集污染物后的生物进行监测，能更好地评价河湖的健康水平；⑤某些监测生物对一些污染物非常敏感，它们能够对微量污染物产生反应，并表现出相应受损伤的症状。

河湖生态监测采用生物学方法评价河湖的健康水平，由于污染与非污染因子综合影响生物群落的结构、功能，单一的生物学方法很难准确地反映河湖的健康状况，必须采用多种生物评价指数，遴选出适合的生物指数，并结合种群、个体生态学、理化监测资料等进行环境生物学的综合分析。水生生物监测要对结果进行时间和空间的综合分析，还要加强生物多样性指标、富营养化问题、水生态调控机理、水生生物毒理学等方面的研究。在实际水环境中，污染物之间的相互作用复杂，多种污染物自身的含量低，更多的生态破坏是由复合污染造成，故应注重对污染物的联合作用的毒理研究。通过了解其联合毒理效应和致毒机理，确定复合污染物组分间的联合或相互作用的剂量范围等。流域中污染物种类繁多，研究清楚所有污染物的生态毒理效应和相互作用是一项艰巨的工作，而污染物的作用方式直接影响了复合污染物的生态毒理效应，故可以考

虑进行污染物的分类管理。同时，不断出现的新型污染物已经对水环境造成影响，对新型污染物的生态毒理的研究将基于化学和生物学新型分析测试手段的进步与发展。

黑龙江省历来被认为是资源大省，环境良好、发展潜力大。中华人民共和国成立以来，黑龙江省为国家输出了大量的资源和商品，为国家提供了七分之一的商品粮、五分之二原油、十分之一的煤炭和三分之一的木材。在发展经济的同时，由于采用粗放经营和掠夺式经营方式，黑龙江省的生态环境受到极大的破坏，特别是河湖水生态环境退化日趋严重，河湖生态健康评估受到广泛关注。目前，黑龙江省主要河湖水生态文明建设处于推进发展阶段，亟待开展生态文明建设，走上健康发展轨道，使经济、生态、社会复合系统进入良性循环，为我国水生态文明建设提供科学的方法和新的思路。

本书由郑国臣、张静波统稿，冯玉杰、周绪申、刘冰峰主笔。

主要内容和分工如下：

第1章绪论由郑国臣、张静波编写；

第2章河湖水生生物监测方法及规程由刘冰峰、冯玉杰编写；

第3章黑龙江省典型湖库水生态调查由周绪申、张静波、邵文彬编写；

第4章黑龙江省典型河流水生生物调查由周绪申、刘冰峰、郑国臣编写；

第5章嫩江流域典型区域水生态风险评价由冯玉杰、金羽编写；

第6章嫩江流域示范区水生态风险预警与决策由官涤、张继民、吴戈、邵文彬编写；

第7章叶绿素a测定方法的研究实验由官涤、戴欣编写；

第8章低污染源生物菌剂的构建及其应用由郑国臣、吴戈、邵文彬编写；

第9章黑龙江省水生态文明建设由金羽、张继民、戴欣编写。

感谢吉林大学王宪恩教授、中国科学院地理所李怀博士的帮助；感谢东北电力大学建筑工程学院郭静波老师以及张崇军等硕士研究生为本书的编写所做的大量工作；感谢部分专家、学者和管理人员提出的宝贵建议。特别指出的是，本书得到水利部948项目“水生态风险监控技术引进”（201416）、国家杰出青年科学基金项目（51125033）的支持。由于作者水平有限，书中难免存在错误，望广大读者给予批评指正。

作者

2016年3月

目 录

前言

1 绪论	1
1.1 河湖水生态监测的意义和目的	1
1.2 河湖水生生物监测主要内容	2
1.2.1 生境评价	2
1.2.2 理化生境质量	2
1.2.3 遥感应用于生境评价	3
1.2.4 水文变更	3
1.2.5 非自然干扰	3
1.3 我国河湖水生态调查研究现状	4
1.3.1 关于水生生物的生态因子的研究	4
1.3.2 关于水生生物区系分类方面的研究	4
1.3.3 生物多样性指标评价	4
1.3.4 关于水体富营养化研究	5
1.3.5 关于水生生物对水生态调控机理方面的研究	5
1.3.6 流域水生态保护与修复工作	5
1.4 河湖水生生物监测主要研究内容	6
1.4.1 藻类	6
1.4.2 浮游动物	6
1.4.3 大型底栖动物	7
1.4.4 鱼类	7
1.4.5 生物综合评价	8
1.5 黑龙江省河湖生态调查概况	9
1.5.1 黑龙江省简介	9
1.5.2 黑龙江省重要江河湖泊水功能区及其监测评价状况	9
1.5.3 调查河湖与主要测试项目	10

1.6 本书的研究意义及内容	10
1.6.1 本书的研究意义	10
1.6.2 本书主要研究内容	10
2 河湖水生生物监测方法及规程	12
2.1 样品采集	12
2.2 样品分析方法	13
2.2.1 水体理化参数分析	13
2.2.2 浮游植物分析	13
2.2.3 浮游动物分析	13
2.2.4 底栖动物分析	13
2.2.5 鱼类分析	14
2.3 水质及富营养化评价标准	14
2.4 生物多样性评价	15
2.5 浮游生物计数分析智能鉴定系统	16
2.5.1 主要性能指标	16
2.5.2 配置	16
2.6 浮游动物	17
2.6.1 监测方法	17
2.6.2 试剂	17
2.6.3 仪器与设备	17
2.6.4 测定步骤	17
2.6.5 浮游动物多样性评价指数	21
2.7 底栖动物监测规程	23
2.7.1 器材及试剂	23
2.7.2 采样	23
2.7.3 样品处理与保存	24
2.7.4 检测	25
2.7.5 底栖动物优势种评价	25
3 黑龙江省典型湖库水生生态调查	27
3.1 五大连池	27
3.1.1 自然地理概况	27

3.1.2	采样断面布设	28
3.1.3	富营养化及水质状况	28
3.1.4	浮游植物状况	29
3.1.5	浮游动物状况	33
3.1.6	底栖动物状况	35
3.1.7	其他生态组分	35
3.1.8	存在的问题	36
3.2	磨盘山水库	36
3.2.1	自然地理概况	36
3.2.2	采样断面布设	37
3.2.3	富营养化及水质状况	37
3.2.4	浮游植物状况	38
3.2.5	浮游动物状况	40
3.2.6	底栖动物状况	42
3.2.7	其他生态组分	42
3.2.8	存在的问题	43
3.3	镜泊湖	43
3.3.1	自然地理概况	43
3.3.2	采样断面布设	44
3.3.3	富营养化及水质状况	44
3.3.4	浮游植物状况	45
3.3.5	底栖动物状况	50
3.3.6	其他生态组分	51
3.3.7	存在的问题	51
3.4	兴凯湖	52
3.4.1	自然地理概况	52
3.4.2	采样断面布设	52
3.4.3	富营养化及水质状况	52
3.4.4	浮游植物状况	53
3.4.5	浮游动物状况	56

3.4.6	底栖动物状况	58
3.4.7	其他生态组分	58
3.4.8	存在的问题	59
3.5	尼尔基水库	59
3.5.1	自然地理概况	59
3.5.2	采样断面布置	60
3.5.3	富营养化及水质状况	60
3.5.4	浮游植物状况	64
3.5.5	浮游动物状况	66
3.5.6	底栖动物	68
3.5.7	存在的问题	69
4	黑龙江省典型河流水生生物调查	70
4.1	嫩江中上游	70
4.1.1	监测断面布置	70
4.1.2	监测项目	70
4.1.3	样品采集及分析方法	70
4.1.4	水质评价	70
4.1.5	嫩江中上游示范区汛期水生态调查	72
4.1.6	调查内容及调查方法	82
4.1.7	鱼类资源	82
4.2	嫩江下游	89
4.2.1	调查范围	89
4.2.2	调查点位布置	89
4.2.3	浮游植物	89
4.2.4	浮游动物	92
4.2.5	底栖动物	94
4.3	哈尔滨二水源(松花江)	96
4.3.1	采样断面布置	96
4.3.2	富营养化及水质状况	96
4.3.3	浮游植物状况	97
4.4	拉林河(五常段)	99

4.4.1	采样断面布设	99
4.4.2	富营养化及水质状况	99
4.4.3	浮游植物状况	99
4.5	牡丹江	102
4.5.1	采样断面布设	102
4.5.2	富营养化及水质状况	102
4.5.3	浮游植物状况	103
5	嫩江流域典型区域水生态风险评价	106
5.1	嫩江流域示范区自然概况	106
5.2	指标体系与评价标准	107
5.2.1	指标体系的层次	107
5.2.2	子评价指标体系	108
5.2.3	评价标准	109
5.2.4	常规污染指数	109
5.2.5	特征污染指数	110
5.2.6	指标标准化处理	110
5.3	评价结果	111
5.3.1	水华风险评价	111
5.3.2	污染风险评价	112
5.3.3	生态风险评价	112
5.4	污染物来源分析方法与数据	113
5.4.1	排放量计算	113
5.4.2	支流汇入计算	114
5.4.3	上游来水计算	114
5.4.4	污染物排放计算	114
5.4.5	非点源排放计算	115
5.5	嫩江流域典型区域污染物来源分析	115
5.5.1	支流水质	116
5.5.2	上游来水情况	117
5.5.3	沿河排污口情况	117
5.5.4	非点源排放数据	118

5.6 结果与分析	121
5.6.1 支流汇入	121
5.6.2 上游来水含量	122
5.6.3 沿河排污量	122
5.6.4 非点源排放	122
5.6.5 结果分析	123
6 嫩江流域示范区水生态风险预警与决策	125
6.1 水生态风险预警-决策模型建立	125
6.1.1 沿江排污	125
6.1.2 非点源污染	127
6.1.3 上游来水与上游支流汇入	129
6.1.4 特征污染物的模拟	130
6.2 系统动力学模型验证	131
6.3 水生态风险预警与决策	134
6.3.1 水生态风险预警	134
6.3.2 水生态风险决策	148
6.4 嫩江流域示范区水生态风险分析	158
6.4.1 嫩江流域示范区的水质情况分析	158
6.4.2 嫩江流域示范区水生态风险预警决策	159
6.4.3 尼尔基水库生态风险分析	159
6.5 嫩江流域示范区水生态保护对策	160
6.5.1 嫩江流域示范区水生态风险的预警策略	160
6.5.2 尼尔基水库水生态保护策略	160
7 叶绿素 a 测定方法的研究实验	161
7.1 叶绿素 a 的研究现状	161
7.1.1 分光光度法测定水体中的叶绿素 a 方法研究	161
7.1.2 叶绿素 a 的其他分析方法	162
7.1.3 检测叶绿素 a 方法的应用	163
7.2 分光光度法测定叶绿素 a 研究	164
7.2.1 方法原理	164
7.2.2 测定范围的确定	164

7.2.3	干扰及消除	165
7.2.4	试剂和材料	165
7.2.5	仪器和设备	166
7.2.6	水样的采集与保存	166
7.2.7	分析步骤	166
7.2.8	叶绿素 a 的提取方法改进	168
7.3	高效液相色谱法实验	174
7.3.1	流动相的组分比例及流速的确定	175
7.3.2	荧光检测器激发、检测波长的选择	177
7.3.3	叶绿素 a 的标准曲线	177
7.3.4	叶绿素 a 的加标回收实验	178
7.4	活体叶绿素荧光法实验	179
7.4.1	浮游植物荧光仪的校正	179
7.4.2	活体叶绿素荧光法与分光光度法比较	179
7.5	三种实验方法测定的叶绿素 a 值的比较	181
7.5.1	分光光度法与高效液相色谱法的比较	181
7.5.2	三种方法在叶绿素 a 低浓度下测定情况的比较	182
7.6	本章小结	183
8	低污染源生物菌剂的构建及其应用	184
8.1	低污染水特征与治理	184
8.1.1	低污染水特征	184
8.1.2	低污染水治理的重要性	185
8.1.3	低污染水治理难点	185
8.1.4	流域低污染水治理体系构建	186
8.2	流域低污染水主要构成	186
8.2.1	低污染水输送特征分析	186
8.2.2	流域低污染水处理净化体系方案	187
8.2.3	低污染水治理的关键技术	187
8.3	低污染源固定化生物菌剂的构建	189
8.3.1	菌剂的构建内容	189
8.3.2	具体实施方式	190

8.3.3 实例验证效果	193
8.4 实施案例	194
8.4.1 固定化生物菌剂对松花江水和马家沟河水的 COD 去除效果	194
8.4.2 固定化生物菌剂对松花江水氨氮、硝氮、亚硝氮、磷酸根的去除效果	195
8.4.3 固定化生物菌剂对马家沟河水的氨氮、硝氮、亚硝氮、磷酸根的去除效果	195
8.5 固定化生物菌剂的构建技术路线	196
8.6 嫩江典型区域优先控制污染物清单	197
8.6.1 优先控制污染物筛选过程的确定	197
8.6.2 嫩江流域示范区优先控制污染物的筛选	197
8.6.3 初始清单的确定	197
8.6.4 初筛清单的筛选	198
8.6.5 优先污染物控制清单的筛选	201
8.7 DBP 高效降解菌的筛选、分离及鉴定	205
8.7.1 DBP 作为典型有机污染物的选择依据	205
8.7.2 DBP 高效降解菌的初筛	208
8.7.3 DBP 高效降解菌的复筛	209
8.7.4 DBP 高效降解菌的确定	211
8.7.5 DBP 高效降解菌的疏水性与絮凝率	212
8.7.6 DBP 高效降解菌的鉴定	214
8.8 低污染水治理对策	217
9 黑龙江省水生态文明建设	219
9.1 水生态文明解析	219
9.1.1 水生态文明的提出背景	219
9.1.2 水生态文明的概念和内涵	220
9.2 水生态文明建设的目的及意义	220
9.2.1 水生态文明建设的目的	220
9.2.2 加强水生态文明建设的意义	222
9.2.3 国外流域水生态文明建设进展分析	223
9.3 我国水生态文明建设存在的问题及对策	224
9.3.1 新时期加强水生态文明制度建设总体思路	224
9.3.2 新时期加强水生态文明制度建设任务	225

9.3.3	水生态文明建设中面临的主要问题	227
9.3.4	流域水生态文明建设的对策	229
9.3.5	进一步推进水生态文明建设的对策	231
9.4	如何加强流域水生态文明建设	232
9.4.1	流域水生态文明建设任务	232
9.4.2	流域水生态治理与公众生态保护意识	234
9.4.3	松辽流域水生态文明建设内容与要求	238
9.5	松花江流域水生态文明建设展望	239
9.5.1	东北地区城市水生态文明建设思考	239
9.5.2	松花江流域水生态文明的建议	240
9.6	海绵城市的内涵、意义及原则	241
9.6.1	海绵城市的内涵	241
9.6.2	建设海绵城市的意义	242
9.6.3	建设海绵城市的原则	242
9.6.4	国内研究现状	243
9.6.5	海绵城市建设关键技术	244
9.6.6	黑龙江省海绵城市建设展望	244
9.6.7	黑龙江省水生态监测展望	245
参考文献		247
彩图		

目前,我国河流、湖泊和水库等水生态问题依然严重,水生态监测与评价是水生态保护的关键和基础,也是确保水生态安全、分析水体变化趋势的前提。水生态是指水环境因子对水生生物的影响和水生生物对各种水分条件的适应。水生生物是生活在各类水体中的生物的总称。水生生物主要包括微藻类以及水生高等植物、底栖生物和鱼类等。近年来,黑龙江省河湖生态监测开展频繁,如何评价河湖生态健康水平、提高河湖生态修复关键技术成为黑龙江省河湖管理中迫切需要解决的问题。

1.1 河湖水生态监测的意义和目的

水生生物的调查给河湖生态监测提供了一个测量方法,以解决生物完整性相关联的需求,整合比直接测量评估有更大空间和时间尺度的化学和物理胁迫因子,如丰度、年龄结构、生物量信息,也可以提供信息并加强评价。生物区也整合了多重胁迫在空间和时间上的影响,针对人为胁迫因子(人口密度、陆地覆盖、入河排水口、河岸环境、大坝等)展开调查。淡水生物学最初是研究水生生物的分类检索和形态特征,在水生生物营养动力学理论发表以后,水生生物学就越来越跳出原来水生动物、植物和微生物分类学的圈子,趋向于以生态系统作为指导原则来研究水域生态系统的结构和功能。生态系统的健康受到人为因素和自然因素的制约,如污染物排放、过度捕捞、围湖造田、水土流失、外来物种入侵、水资源不合理利用、水灾、河流改道、地震、病虫害爆发等。一般用自然生态系统的指示类群来监测生态系统健康,即依据生态系统的关键物种、特有物种、指示物种、濒危物种、长寿物种和环境敏感物种等的数量、生物量、生产力、结构指示、功能指标及其某些生理生态指标来描述生态系统的健康状况(唐克旺等,2013)。

美国、澳大利亚、南非和英国等国家先后开展了河湖生态调查,并建立河湖健康评价的技术方法。美国环境保护局编制了快速生物评估草案和水生生物栖息地评估手册。澳大利亚政府开展“国家河流健康计划”,提出了河流评价

体系、溪流状态指数等。南非水事务及森林部发起了“河流健康计划”，发展了河流栖息地综合评价体系。英国提出河流保护评价系统，并构建一种评价河流健康状况的技术方法；还以 RIVP ACS 为基础建立河流生物监测系统。美国率先启动了长期生态研究计划，美国长期生态研究网络的发展不断完善，因其深刻认识到生态研究的长期性和网络化发展的重要性，长期生态研究网络的主要任务为生态系统观测、研究和优化管理模式示范，具体任务包括：①按统一规范对山林、草地、荒漠、沼泽、湖泊和河流生态系统的主要环境因子和生物群落及其基本生态过程进行长期观测，定期提供主要类型生态系统的动态信息；②全面、深入研究主要生态系统的结构、功能和动态特征及管理途径、方法；③提供生态系统优化管理的示范样板；④向流域机构提供关于水生态、环境的科学依据（左其亭，2013）。美国《清洁水法》认为河流保护的目标是维持河流生态系统的生物完整性。另外，评价方法还有表述生物种群或群落在生态系统内物质转移及能量流指标、生物个体或群体的几种化合物或元素的残留量等。

1.2 河湖水生生物监测主要内容

1.2.1 生境评价

生境涉及物理和化学环境及生态系统生物交互作用的各个方面，影响着水生群落的结构和功能。改变生境的结构被认为是对水生系统的主要胁迫，这导致生物完整性的丧失。生境评价的主要内容包括：对位点的常规描述、物理特性和水质评价以及河岸生境质量的感官评价。通过特征性地选择与物理结构的系统评价相关联的物化参数，完成对大型河流生境质量的评估。生物类群是生物监测项目的核心，因为其提供了一个与生物完整性相关的直接生物环境测量，生物区整合了多重胁迫在空间和时间上的影响。水环境哨兵提供了一种在时间或空间上可变的胁迫的方法。多种分类类群已经被应用到生物监测中，如藻类、浮游动物、大型无脊椎动物和鱼类等（孟伟等，2011）。

1.2.2 理化生境质量

生境与生物多样性有着密切的关系，生境的减少或损坏是对生物区的重要胁迫。生境评价方案多种多样，旨在描述河湖的生物区生境环境的高度定量方法，为了给生物区和独立生境分级而使用的定性方法。物理生境由河流环境结构特征组成，评估物理生境质量主要是为了描述潜在驱动力、使用生物学模式作为最终生态环境测量。生物数据并非独立收集，也伴随着许多物理和化学的