

辽河流域水环境 监测与管理案例研究

■ 马溪平 徐成斌 付保荣 惠秀娟 编著



辽宁大学出版社
Liaoning University Press

辽河流域水环境 监测与管理案例研究

■ 马溪平 徐成斌 付保荣 惠秀娟 编著



辽宁大学出版社
Liaoning University Press

图书在版编目 (CIP) 数据

辽河流域水环境监测与管理案例研究/马溪平等编著.

—沈阳: 辽宁大学出版社, 2013. 3

ISBN 978-7-5610-7165-6

I. ①辽… II. ①马… III. ①辽河流域—水环境—环境监测—案例—研究②辽河流域—水环境—环境管理—案例—研究 IV. ①X143②X832

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 057234 号

出 版 者: 辽宁大学出版社有限责任公司

(地址: 沈阳市皇姑区崇山中路 66 号 邮政编码: 110036)

印 刷 者: 鞍山新民进电脑印刷有限公司

发 行 者: 辽宁大学出版社有限责任公司

幅面尺寸: 185mm×260mm

印 张: 23.75

字 数: 500 千字

出版时间: 2013 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2013 年 4 月第 1 次印刷

责任编辑: 祝恩民

封面设计: 韩 实

责任校对: 李 佳

书 号: ISBN 978-7-5610-7165-6

定 价: 60.00 元

联系电话: 024-86864613

邮购热线: 024-86830665

网 址: <http://www.lnupshop.com>

电子邮件: lnupress@vip.163.com

前言

随着辽宁老工业基地的全面振兴,沿海经济带和区域经济区上升为国家战略,经济的快速增长也给辽河流域造成了更大的水环境压力。《辽河流域水环境监测与管理案例研究》以国家“十五”科技支撑、“十一五”、“十二五”水专项课题(2012ZX07505-003)研究成果为基础,从辽河流域当前的水环境问题出发,基于流域水环境管理的角度,应用流域环境科学和生态学的基本理论和研究方法,调查了辽河流域生态系统状况,对辽河流域水环境与水生态问题进行识别,重点评价辽河流域水环境现状,对于水环境管理具有一定的理论和现实指导意义。

本书介绍了流域水质生物评价、非点源污染评价、底泥沉积物监测、流域水生态健康评价、流域水生态功能评价、持久性污染物源解析、河岸带生态系统特征与功能等内容。借鉴国内外先进的水环境监测技术经验、国内外最新的研究成果和相关科研项目中的多项技术方法和手段,针对辽河流域不同环境问题,研究出一套水环境监测与管理技术体系,直接服务和应用与解决区域水环境问题。

本书可供从事流域水环境监测与评价和水生态环境改善的环境科学、环境工程、生态学等相关专业的技术人员、科技工作者与大专院校师生参考、阅读。本书的编写不仅能够满足区域环境科研管理工作的实际技术需求,又可以指导和推动其他

区域环境科研管理工作的开展,而且可以为政府、高校提供相关理论基础和技术支持。

本书编写的具体分工是:第一章:徐成斌、邵亮、孟雪莲;第二章:付保荣、李法云、张润洁;第三章:徐成斌、张峥、于宁;第四章:张利红、徐成斌、吕晓飞;第五章:惠秀娟、李法云、杨涛;第六章:马溪平、吴丹、赵璐璐;第七章:马溪平、张利红、王英艺;第八章:马溪平、杨春璐、李悦;全书由马溪平、徐成斌统稿。

由于编者水平有限,书中难免有不足和错误之处,敬请专家和广大读者批评指正。

编 者

2013 年 3 月

目 录

第1章 辽河流域河流水质生物评价研究	1
1 绪 论	1
1.1 辽河流域概况	1
1.2 水质生物评价	2
1.3 水质生物评价指数	4
1.4 河流生态评价方法研究进展	7
2 材料与方法	10
2.1 监测断面布设原则	10
2.2 调查内容	13
2.3 调查时间与频次	13
2.4 采样方法	13
2.5 测定方法	14
2.6 数据处理	14
3 辽河流域水质评价	15
3.1 评价方法	15
3.2 辽河流域水质监测	15
3.3 辽河流域水质评价	18
3.4 评价结果分析	21
4 辽河流域水质生物评价	22
4.1 辽河流域水生细菌学评价	22
4.2 辽河流域大型底栖动物水质生物评价	25
4.3 辽河流域水质生物评价结果分析	43
5 水生生物栖息地环境质量	47
5.1 水生生物栖息地环境调查方法	47
5.2 辽河流域水生生物栖息地环境现状	48
5.3 辽河流域水生生物栖息地环境评价	53

6 辽河流域河流生物完整性评价	54
6.1 生物完整性指数评价原理	54
6.2 B-IBI 指数建立的方法	55
6.3 辽河流域 4 月底栖动物完整性评价	59
6.4 辽河流域 6 月底栖动物完整性评价	64
7 结 论	69
第 2 章 浑河着生藻类群落结构及影响因子分析	72
1 绪 论	72
1.1 研究区域概述	72
1.2 着生藻类监测	75
1.3 技术路线	79
1.4 创新之处	79
1.5 研究内容	80
2 材料与方法	80
2.1 断面的布设及原则	80
2.2 调查内容	81
2.3 调查时间与频率	81
2.4 采样方法	81
2.5 测试方法	82
2.6 数据处理	83
3 2011 年浑河中上游栖息地调查	84
3.1 古楼断面信息	84
3.2 南杂木断面信息	85
3.3 章党断面信息	86
3.4 葛布断面信息	87
3.5 高坎断面信息	88
3.6 小结	88
4 浑河着生藻类群落结构分析	89
4.1 枯水期着生藻类群落结构分析	89
4.2 丰水期着生藻类群落结构分析	94
4.3 平水期着生藻类群落结构分析	99
4.4 小结	103

5 水环境因子对着生藻类的影响	104
5.1 天然基质着生藻类群落特征	104
5.2 水环境因子对着生藻类的影响	107
5.3 小结	111
6 结 论	111
第3章 辽河干流流域非点源污染评价及其治理研究	115
1 序 言	115
2 非点源污染的概述	116
2.1 非点源污染的特点	116
2.2 非点源污染发生的机理	116
2.3 非点源污染的危害	118
2.4 国内外非点源污染现状及治理研究	119
3 辽河干流非点源污染状况	121
3.1 辽河干流流域概况	121
3.2 辽河干流非点源特征污染物变化情况	124
3.3 辽河干流流经区域的农业非点源污染负荷计算和综合评价	126
3.4 本章小结	140
4 辽河干流非点源治理措施	141
4.1 农村相关活动对非点源特征污染物负荷量增加的治理措施	141
4.2 禽畜养殖对辽河干流非点源特征污染物增加的治理措施	142
4.3 农地径流污染和化肥施用流失引起非点源特征污染物负荷量增加的治理措施	142
5 实验室模拟河岸带处理非点源污染研究	143
5.1 河岸带的定义	143
5.2 河岸带净化污染物机理	143
5.3 国内外利用河岸带对非点源污染治理的研究进展	144
5.4 试验设计	145
5.5 结果与讨论	146
5.6 模拟试验结论	150
5.7 河岸带养护、管理及成本分析	150
6 总体结论	152
第4章 辽河沉积物中多环芳烃空间分布特征与生态风险评价	153
1 绪 论	153

1.1	多环芳烃的性质	153
1.2	研究沉积物多环芳烃的意义	154
1.3	国内外沉积物多环芳烃分布特征的环境调查	155
1.4	辽宁省多环芳烃的污染研究	157
2	研究内容	159
2.1	辽河水系概况	159
2.2	研究内容	160
2.3	研究方法与技术路线	160
2.4	样品的采集与分析测试	163
3	辽河沉积物多环芳烃空间分布特征研究	169
4	辽河沉积物多环芳烃源解析	183
4.1	辽河多环芳烃污染源分析	183
4.2	多环芳烃源解析概述	184
4.3	多环芳烃源解析方法	184
4.4	辽河沉积物多环芳烃源解析	185
4.5	辽河沉积物多环芳烃源解析小结	187
5	辽河沉积物多环芳烃生态风险评价	187
6	结 论	188
6.1	辽河沉积物多环芳烃污染特征	189
6.2	辽河沉积物多环芳烃源解析	189
6.3	辽河沉积物多环芳烃生态风险评价	189
6.4	河流多环芳烃研究体系的建立以及辽河多环芳烃污染监测 监控风险评估的重点	189
第5章	辽河(辽宁省段)水生态系统健康评价研究	191
1	绪 论	191
1.1	研究背景	191
1.2	选题的目的及意义	192
1.3	本研究的主要工作	192
1.4	本章小结	193
2	河流水生态系统健康状况表征及评价	193
2.1	河流水生态系统健康状况内涵	193
2.2	河流水生态系统健康状况表征	196

2.3	河流水生态系统健康状况评价	200
2.4	本章小结	203
3	河流水生态系统健康状况评价指标体系的构建	204
3.1	河流水生态系统健康评价指标体系构建的原则与思路	204
3.2	河流水生态系统健康状况指标体系设计	206
4	辽河(辽宁省段)水生态系统健康状况评价	210
4.1	研究区域概况	210
4.2	采样点布设	210
4.3	样品采集及分析	211
4.4	候选指标的筛选	212
4.5	评价指标体系指标权重的确定	215
4.6	评价标准的设定	217
4.7	辽河(辽宁省段)水生态系统健康状况综合评价	217
4.8	评价结果验证	220
4.9	全河段监测断面健康状况评价	222
4.10	本章小结	228
5	河流水生态系统健康评价及其对河流管理的启示	228
5.1	河流水生态系统健康状况与河流水生态系统管理的关系	228
5.2	河流水生态系统健康状况评价对河流水生态系统管理的启示	229
5.3	本章小结	230
6	结论及展望	231
6.1	本研究主要结论	231
6.2	相关研究展望	231
6.3	本章小结	233
第6章	辽河流域水生态系统功能评价及主要驱动因子识别	236
1	绪 论	236
1.1	研究背景	236
1.2	研究目的和意义	237
1.3	生态系统功能评价研究进展	237
1.4	研究内容和研究方法	239
1.5	研究技术路线	240
2	水生态系统功能内涵和分类	240

2.1 水生态与水生态系统定义	240
2.2 生态系统功能与生态系统服务	240
2.3 水生态系统功能定义与分类	242
3 评价指标与评价方法	244
3.1 评价指标选取原则	244
3.2 水生态系统功能评价及主要驱动因子识别方法与模型	244
4. 清河流域水生态系统功能评价及主要驱动因子	251
4.1 研究区概况	251
4.2 评价指标体系	252
4.3 功能评价及主要驱动因子识别	252
5. 辽宁省辽河流域水生态系统功能评价	257
5.1 研究区概况	257
5.2 评价指标体系	259
5.3 功能评价及主要驱动因子识别	259
6. 辽河流域水生态系统功能评价	263
6.1 研究区概况	263
6.2 评价指标体系	265
6.3 功能评价及主要驱动因子识别	265
7. 结论与建议	280
7.1 结论	280
7.2 建议	281
第7章 辽河水体持久性污染物源解析	282
1 绪论	282
1.1 研究目的及意义	282
1.2 源解析概况介绍	283
1.3 持久性污染物的概况	287
1.4 国内外研究进展	287
2. 研究区域概况	289
2.1 河流水系	289
2.2 气候、气象条件	290
2.3 径流	291
2.4 水资源现状	291

2.5 人口与经济状况	291
3. 研究内容	292
3.1 样品的采集	292
3.2 测试方法	293
3.3 数据分析方法	295
4. 辽河理化指标空间变化及其污染源解析	295
4.1 常规水质指标的空间变化	295
4.2 辽河监测点位水质评价	299
4.3 常规指标的污染源解析	301
4.4 小结	305
5. 辽河重金属污染空间变化及污染源解析	306
5.1 水体中重金属空间变化	306
5.2 重金属污染源解析	313
5.3 重金属的综合评价	316
5.4 重金属污染的来源分析	317
5.5 小结	319
6. 辽河多环芳烃空间分布及污染源解析	320
6.1 水体多环芳烃空间分布特征	320
6.2 辽河多环芳烃污染源解析	321
6.3 辽河水体 PAHs 污染来源	329
6.4 小结	330
7. 结论	330
7.1 辽河常规理化指标源解析研究结果	330
7.2 辽河重金属源解析研究结果	330
7.3 辽河 PAHs 源解析的研究结果	331
第 8 章 大辽河河岸带生态系统结构特征与功能评价	332
1. 河岸带植被调查实施细则	332
2. 太子河干流河岸带植被及土壤理化指标分析	333
2.1 研究区概况及采样点位置	333
2.2 太子河干流河岸带植被分析	334
2.3 太子河流域土壤理化指标	337
2.4 太子河流域土壤重金属指标	337

3. 太子河上游北部支流植被及土壤理化指标分析	338
3.1 研究区概况及采样点位置	338
3.2 太子河上游北部支流河岸带植被分析	339
3.3 太子河上游北部支流河岸带土壤理化指标	342
4. 太子河中游支流南芬细河河岸带植被及土壤理化指标分析	345
4.1 研究区概况及采样点位置	345
4.2 太子河中游支流南芬细河河岸带植被分析	346
4.3 太子河中游支流南芬细河河岸带土壤理化指标分析	349
5. 太子河下游支流海城河河岸带植被及土壤理化指标分析	353
5.1 海城河概况及采样点位置	353
5.2 太子河下游支流海城河河岸带植被分析	354
5.3 海城河河岸带土壤理化指标分析	357
6. 太子河流域河岸带生境质量评价	361
6.1 太子河河岸带生境健康评价指标体系的建立	361
6.2 太子河河岸带生境的健康评价	363

第1章

辽河流域河流水 质生物评价研究

1 绪论

1.1 辽河流域概况

辽河流域位于我国东北地区西南部,包括吉林、辽宁、河北省和内蒙古自治区部分地域的65个市、县(旗),流域总人口为3029万。整个流域东西宽,南北狭,全流域面积为21.96万平方公里。流域内主要有两大水系:辽河水系和浑太水系。

1.1.1 辽河流域自然状况

辽河发源于河北省七老图山脉的光头山,流经河北、内蒙古、吉林、辽宁四省(区),至盘山注入渤海,全长1345公里,是我国的七大江河之一,辽河上游为老哈河,与另一主要支流西拉木伦河汇于苏家堡附近,称为西辽河。西辽河流至福德店和发源于吉林省萨哈岭山的东辽河相汇,始称为辽河。辽河流至六间房附近分为两股:大股称双台子河,经盘山入渤海;小股称外辽河,在辽宁省海城县三岔河附近接纳浑河和太子河后称大辽河,经营口入渤海。浑河发源于辽宁省清原县滚马岭,流经抚顺、沈阳等城市,全长415公里;太子河发源于辽宁省的新宾县红石砬子,流经本溪、辽阳、鞍山等城市。1958年,外辽河在六间房被堵截后,辽河水全部由双台子河入海,浑河和太子河汇合为大辽河入海,称为浑太水系。

辽河流域降水量自西北向东南递增,年际变化较大,丰、枯水年降水量比值一般可达2~3倍,且年内分配的差异也很明显,降水量主要集中在6~9月,约占全年的80%。河流径流量也是从东南向西北递减,丰、枯水年径流量相差可达7倍左右,且年内变化也很大。

辽河流域水资源总量为235亿立方米,人均占有地表水资源量为535立方米,仅为全国人均占有水量的1/5;流域内农田亩均占有地表水资源量为220立方米,仅为全国农田亩均占有水量的1/8左右。从总体上来说,辽河流域属水资源贫乏地区。

辽宁省辽河流域内辖沈阳、鞍山、抚顺、本溪、辽阳、铁岭、营口、盘锦等8个省辖市

和锦州市的黑山县、北宁市,阜新市的彰武县,朝阳市的建平县。2003年,该区域总人口2437.1万人,占全省的59.4%,其中主要城镇城区人口1084.5万,占流域总人口的44.5%。该区域平均人口密度352人/平方公里,城区1240人/平方公里,城市化水平位于全国前列。

1.1.2 辽河流域污染状况

辽河流域是我国经济较发达的地区,中部城市群的工业污水和城市生活污水以及农业的面源污染,使河流水质污染严重,水生态系统严重退化。辽河流域各河流水质污染具有以下特点:

(1) 辽河水系的东辽河比西辽河污染重,下游比上游污染重;浑太水系的太子河比浑河污染重,下游大部分河段已丧失任何使用功能。

(2) 河流水质呈区段性和时段性变化,水质恶化区段全部集中在城市段,时段主要集中在枯水期,其次是平水期。

(3) 整个流域为有机型污染,主要污染指标为COD、石油类、挥发酚、氨氮等,污染范围广,对水生生物产生了严重的危害。辽河流域的污染源主要集中在内蒙的赤峰、通辽、吉林的辽源、四平以及辽宁的铁岭、沈阳、抚顺、本溪、辽阳、鞍山、营口、盘锦等十二个大中型城市。水体接纳的污染物主要来自这些城市的工业废水和生活污水,另外农牧业面源排放也不容忽视。辽河流域工业废水中只有一半左右经处理达标排放,另外近一半的工业废水未经任何处理便直接排入河道,这是造成辽河流域水污染严重的一个重要原因。大量生活污水未经处理直接排入河道是造成辽河流域水污染严重的又一重要原因。此外,来自农业生产过程中化肥与农药的大量施用与不适当使用,对辽河流域水体污染也产生了严重影响。

1.2 水质生物评价

选择何种指示生物进行水质评价是生物评价的关键问题,用得较多的水生生物主要是水生细菌、着生生物、底栖动物和鱼类。河流大型底栖动物具有相对较长的生活周期、较高的生物多样性(在不同生境中都有分布)、形体易于辨别等优势。此外,很多大型底栖动物在其生活史中至少有一部分时间对生境有特定的要求,所以该类生物群落结构的变化能很好地反映河段生境条件的变化,是河流水质生物评价惯用的一项监测指标。

1.2.1 水生细菌学评价

水生细菌是河流生态系统重要的分解者,有些自养细菌具有光合作用,同时,它们也是浮游动物等的饵料。细菌能在各种不同的自然环境中生长。病原微生物主要有沙门氏菌、志贺氏菌、霍乱弧菌、粪大肠杆菌以及钩端螺旋体和病毒。这些细菌能破坏水产动物资源,引起人体各种疾病。当水体受到人畜粪便、生活污水或某些工农业废水污染时,细菌大量增加,可造成大范围疾病流行。因此,对辽河流域河流系统水生细菌数量进行研究具有重要的现实意义。

细菌总数评价的目的是表明水体受到了有机物的污染的程度。细菌总数指标评价水质的方法:Kolkwitz和Marsson污水生物系统评价法。受有机物污染的河流,按其污染程度和自净过程划为几个连续的污染带,每一带包含着各自独特的生物。即污水生物带系统,包括多污带、 α -中污带、 β -中污带、寡污带。应用细菌总数指标评价水质: <100 个/mL,寡

污带；100—100000 个/mL， β -中污染带；100000—1000000 个/mL， α -中污染带；>1000000 个/mL，多污带。

粪大肠菌群指标的评价结果表明：该水体受到了相应程度生活污水的污染，反映出该水体在一定程度上受到了病原微生物的污染，应注意防止肠道疾病和流行病的发生。评价方法多采用 GB-3838-2002 地面水环境质量标准。

1.2.2 大型底栖动物水质评价

1.2.2.1 大型底栖动物概况

大型底栖动物是栖息在水体底部淤泥内、石块或砾石表面及其间隙中，以及附着在水生植物之间的肉眼可见的水生无脊椎动物。一般认为其体长超过 2mm，不能通过 40 目分样筛。它们广泛分布在江、河、湖、水库、海洋和其他各种小水体中，包括水生昆虫、大型甲壳类、软体动物、环节动物、圆形动物、扁形动物等许多动物门类。底栖动物的移动能力差，所以在正常环境下比较稳定的水体中，种类比较多，每个种类的个体数量适当，群落结构稳定。当水体受到污染后，其群落结构便发生变化。严重的有机污染和毒物的存在，会使多数较为敏感的种类和不适应缺氧的种类逐渐消失，而仅保留耐污染种类，成为优势种类。应用大型底栖动物对污染水体进行监测和评价，已被各国广泛应用。

1.2.2.2 大型底栖动物取食功能团

陆地生态系统中对物质分解起重要作用的是微生物。在水域生态系统中，对物质分解起重要作用的是大型底栖动物。大型底栖动物有很高的多样性，它们对于维持水生态系统，尤其是河流生态系统功能的完整性有着至关重要的作用。根据食物的大小和食物在水体中的位置，将大型底栖动物功能取食类群分为 4 类。

(1) 撕食者。以粗颗粒有机物（颗粒大小 $\geq 1\text{mm}$ ）为主要食物。与其他微型水生植物和动物一起分解取食水生维管束植物的枯枝落叶等残体组织、或直接取食活的水生维管束植物的一类动物。

(2) 集食者。以细颗粒有机物（颗粒大小 $0.45\mu\text{m} \sim 1\text{mm}$ ）为主要食物，细颗粒有机物一部分来自于粗颗粒有机物的分解，另一部分由可溶性有机物与藻类和原生动物等形成的絮状物。根据食物在水体中的位置和获取食物的方式，又可分为：

① 滤食者。以悬浮于水中的细颗粒有机物为食，具有某些特殊结构如前足胫节上的刚毛、上唇扇，或者通过丝或丝状分泌物织成的网过滤悬浮于水中的有机物质的一类生物。

② 收集者。主要取食沉积于底质表面的松散的细颗粒有机物。

③ 穴食者。以沉积物中的细颗粒有机物为食，主要为寡毛类中的颤蚓和部分摇蚊幼虫。

(3) 刮食者。适合在石块底质或有机底质上刮食微型或小型生物，如周丛生物、着生藻类和其他微生物等的一类动物。

(4) 捕食者。直接吞食或刺食猎物的一类生物。

1.2.2.3 大型底栖动物水质评价的优越性和局限性

利用大型底栖动物监测水质具有以下优点：大型底栖动物活动能力较弱，比较容易受到污染物的影响；具有长而稳定的生活周期，使它们能综合反应较长时间段内的水体质量状况；种类多样性高，耐污值多样性高；取食行为多样化，较好地反映生态系统能流过程；种类分布广；易采集。

应用大型底无脊椎动物进行水质生物评价的困难和不足之处：不能准确说明具体污染物

质；对有些干扰不敏感；季节性变化较复杂；需要一定专业知识和经验。

1.3 水质生物评价指数

常用于水生生物评价的底栖生物学指数有 3 类：多样性指数、相似性指数和生物指数。

1.3.1 多样性指数

(1) Margalef 多样性指数

$$M = \frac{S-1}{\log_e N}$$

式中 M 表示 Margalef 多样性指数， S 表示样品中种类数， N 表示样品中个体总数。根据这一指数的计算公式，指数值高，表示污染轻；指数值低，表示污染严重。评价标准分为 5 个等级：0~1 为严重污染，1~2 为重污染，2~3 为中污染，3~4 为轻污染，>4 为清洁水体。

(2) Simpson 多样性指数

$$S = 1 - \sum (n_i/N)^2 \text{ 或 } S = \frac{1}{\sum (n_i/N)}$$

式中 S 表示 Simpson 多样性指数， n_i 表示样品中第 i 种生物的个体数， N 表示样品中生物总个体数。评价等级：0~1 为严重污染，1~2 为重污染，2~3 为中度污染，3~6 为轻度污染，>6 为清洁。

(3) Shannon—Weaver 多样性指数

$$H = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

S 为生物的种类数， N 为群落的个体总数， n_i 为 i 种的个体数。

1.3.2 相似性指数

相似性指数是测定两个群落组成相似程度的指数。一般认为在环境条件相近的情况下，群落种类的组成也趋于一致。通过比较一些特殊种的丰度（共同拥有种的面积相似性）或所有种的丰度（种的数量、面积相似性），可得出污染地区的污染程度及其对生物的影响程度。传统的相似性分析多应用于陆地生态系统，尤其是植物群落的相似性分析，后来推广应用到水生生态系统中。因为对水体中的生物群落采样时，经常出现种类数目不一致的情况，出现的种类类别更不尽相同，某一类所占该点群落总个体数的比例也有千差万别，所以分析不同采样点之间群落相似性，利于不同类型群落的比较，进而反映出它们的环境差别。在水生生态系统中常用的相似性指数有：根据群落中有无各个物种来估计群落的相似性，是一种最简单的相似性指数；百分率相似性指数等。

计算相似性系数按下式计算：

$$S = \frac{2c}{a+b}$$

式中 S 为相似性系数， a 为两个比较点位第 1 点位都出现的种类数， b 为两个比较点位第 2 点位出现的种类数， c 为两个点位样品中共同出现的种类数。

1.3.3 生物指数

(1) BMWP 记分系统。BMWP 即英国生物监测工作组设计的一个适用于河流大型底栖