

辽河典型支流水生态功能三级区水生生态系统健康评价

李法云^{1,2}, 吕纯剑^{2,3}, 魏冉^{2,3}, 王金龙^{2,3}, 褚阔⁴

1. 辽宁石油化工大学生态环境研究院, 抚顺 113001
2. 辽宁大学环境学院, 沈阳 110036
3. 辽宁省水环境生物检测与水生态安全实验室, 沈阳 110036
4. 辽宁省环境科学研究院, 沈阳 110036

摘要 在辽宁省辽河流域水生态功能三级区与河流水生态野外调查基础上,以辽河流域的清河、汎河两条典型一级支流为研究对象,采用主成分分析与相关性分析方法筛选水生生态系统健康评价指标,构建了由总磷(TP)、总氮(TN)、化学需氧量(COD_{Cr})、五日生化需氧量(BOD₅)、溶解氧(DO)、藻类香农多样性指数(DAA)、底栖动物完整性指数(B-IBI)、鱼类完整性指数(F-IBI)、生境指数、水文指数10个指标构成的水生生态系统健康综合评价指标体系,体现了河流水生态系统的物理完整性、化学完整性和生物完整性特征。研究结果表明,清河与汎河流域11个水生态功能三级区中,水生态健康等级1个(IV-5-4),亚健康等级6个(IV-5-1、IV-5-2、IV-5-3、IV-5-9、IV-5-10、IV-5-11),一般健康等级3个(IV-5-12、IV-5-13、IV-5-14),较差健康等级1个(IV-5-8)。清河与汎河流域水生生态系统总体健康状态从其上游河流源头至下游入辽河干流汇入口呈现逐渐恶化的空间分布特征,且与流域人类活动强度具有密切关系。

关键词 水生态功能三级区;水生生态系统健康;辽河流域;清河;汎河

中图分类号 X826

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.010

Aquatic Ecological Health Assessment of the Third Level Aquatic Eco-functional Zones for Typical Tributaries of Liaohe River

LI Fayun^{1,2}, LÜ Chunjian^{2,3}, WEI Ran^{2,3}, WANG Jinlong^{2,3}, CHU Kuo⁴

1. Institute of Eco-environmental Sciences, Liaoning Shihua University, Fushun 113001, China
2. School of Environmental Sciences, Liaoning University, Shenyang 110036, China
3. Liaoning Key Laboratory of Biological Monitoring of Water Environment and Water Ecology Security, Shenyang 110036, China
4. Liaoning Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110036, China

Abstract Based on the survey of the third level aquatic eco-functional zones of Liao River basin in Liaoning Province and the investigation of its ecosystem, with two typical rivers (Qing River and Fan River) as the selected cases and the water ecosystem health assessment indicators for the principal component analysis (PCA) and the correlation analysis, this paper has constructed the comprehensive assessment indicator groups made of ten parameters: EC, TP, TN, COD_{Cr}, BOD₅, DAA, DO, DAA, B-IBI, F-IBI, hydrologic index and habitat index, which reveal the integrated physical, chemical and biological characteristics of the rivers in the studied areas. It is shown that among the 11 third level aquatic eco-functional zonings at Qing River and Fan River basins, one zone (IV-5-4) is evaluated as in the healthy level, six zones (IV-5-1, IV-5-2, IV-5-3, IV-5-9, IV-5-10, IV-5-11) are in sub-healthy level, three zones (IV-5-12, IV-5-13, IV-5-14) are in the ordinary level and one zone (IV-5-8) is in a poor level. The overall healthy characteristics of the

收稿日期: 2013-04-27; 修回日期: 2013-11-19

基金项目: 国家科技重大专项(2012ZX07505-001); “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD38B0502); 沈阳市科技局计划项目(F10-205-1-64);

辽宁省“百千万人才工程”项目(2008921082); 哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金项目(HC200902)

作者简介: 李法云, 教授, 研究方向为流域水污染防治、生态工程与环境修复, 电子信箱: lnecology@163.com

引用格式: 李法云, 吕纯剑, 魏冉, 等. 辽河典型支流水生态功能三级区水生生态系统健康评价[J]. 科技导报, 2013, 32(1): 70-77.

spatial distribution in Qing River and Fan River zonings are gradually deteriorated from the source of the rivers to the end of Liao River, with a close relationship with the human activities.

Keywords The third level aquatic eco-functional zoning; water ecosystem health; Liao river basin; Qing river; Fan river

河流生态系统健康评价是实施流域水生态综合管理的重要基础,对其内涵与评价方法的研究正成为流域水污染综合防治领域的研究热点^[1]。20世纪80年代,河流管理和保护开始从目标单一的水质保护转向河流环境综合管理和流域水生态系统恢复,随之出现了生物完整性指数(index of biological integrity, IBI)^[2]、河流无脊椎动物预测和分类系统(river invertebrate prediction and classification system, RIVPACS)^[3]等河流健康监测和评价方法。美国于1990年启动了环境监测评价计划(environmental monitoring and assessment program, EMAP)^[4]。随后, Petersen^[5]提出了包括河岸带完整性、河岸结构、水生植物、鱼类等16个指标的溪流与河道环境调查细则(riparian, channel and environmental inventory, RCE),并已应用于农业地区的河流健康状况评价。英国学者Raven^[6]于1997年提出了包括河流背景信息、河道数据、沉积物特征、植被特征、河岸侵蚀等河流水文和生境状况的河流栖息地调查方案(river habitat survey, RHS)。1998年,英国建立了河流保护评价系统(system for evaluating rivers for conservation, SERCON)^[7],该评价系统包括35个属性数据,涵盖自然多样性、天然性、代表性、稀有性、物种丰富度及特殊特征6个方面的恢复标准,并已被应用于确定英国河流的保护价值。20世纪90年代,澳大利亚学者Ladson等^[8]提出溪流健康评价指数(index of stream condition, ISC),该指数包含了水质、水生生物、水文、地貌、河岸带状况5项指标,评价内容包括河流栖息地环境、无脊椎动物和鱼类、水质、生态毒理等方面。

近年来,中国学者对河流生态系统健康评价研究也极为重视。上海市环境监测中心^[9]于1999年建立了黄浦江水环境状态评价的指标体系,该指标体系主要包括水物理化学指标、生物指标、营养状况指标、景观指标4个方面。刘晓燕等^[10]根据黄河的具体情况,提出“连续的河川径流、通畅安全的水沙通道、良好水质、良好的河流生态和一定的供水能力”是健康黄河的主要标志。赵彦伟等^[11]针对城市河流提出了包含水量、水质、水生生物、物理结构与河岸带5大要素的指标体系及其5级评价标准,采用模糊层次综合评价程序和模型对宁波市河流进行了健康综合评价。

由于河流生态系统具有典型的区域特征,在进行河流生态系统健康评价时,选择相同的评价指标和评价标准在不同区域及不同时间条件下,所得评价结果也可能不尽相同。鉴于水生态功能分区是实施流域水生态系统综合管理与生态建设的重要依据,目前仅在区域尺度上开展了辽河干流水生态系统健康评价研究,但基于流域水生态功能三级区中小尺度的河流生态健康评价鲜见报道^[12]。为此,本文以影响河流

生态系统健康的物理、化学、生物完整性等方面因素作为指标,结合辽河流域内清河与汎河两个典型支流的水生态功能三级区划方案^[13],利用主成分分析和相关性分析方法,筛选水生态系统健康评价指标体系,利用综合健康指数法对清河与汎河流域11个水生态功能三级区内水生态系统的健康状况进行综合评价,以期为辽河流域水生态目标管理与生态辽河建设提供科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

清河与汎河位于辽宁省北部铁岭市境内,属温带季风型大陆性气候,年平均气温6.3℃,年降水量约为700 mm,均为辽河一级支流。其中,清河流域面积为5674.28 km²,河长217 km,发源于清原满族自治县英额门镇老顶子山,流经清原县英额门镇、土口子乡、大孤家镇,开原市李家台乡、八棵镇、林丰满族乡,主要支流有阿拉河、碾盘河、二道河和苔碧河,该流域内农田分布广泛,是典型的产品提供与农业发展区。汎河流域面积为1180.5 km²,河长102 km,发源于白棋寨乡滚马岭,沿途流经白旗寨乡、鸡冠山乡、李千户乡、大甸子镇、汎河镇、铁岭经济开发区、铁岭新城区7个主要乡镇及开发区,于岳王庙村汇入辽河,该流域于2008年设立自然保护区,多年来自然生态环境保持良好,属典型的生物多样性保护与生物栖息地维持区。

水生态功能三级区是流域中小尺度空间上的分区,主要依据水体生态过程特征,如水生生物种群结构、水生生境特征等指标,是在水生态功能一级、二级分区基础上根据流域内的河流生态系统支持功能的空间异质性进行的空间分区。水生态功能三级区主要反映流域水生态功能的空间异质性,主要包括水源涵养与水文调蓄、水土保持与生态恢复、生物多样性与生物栖息地维持、产品提供与农业发展、人居保障与城市发展等生态功能类型。清河流域包括7个水生态功能三级区,汎河流域包括4个水生态功能三级区^[13](图1)。

1.2 样品采集与分析

研究区域内共设置28个样点(图1),于2011年8月15—23日开展水生态野外调查与监测。其中,水质监测指标主要包括酸碱度(pH)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD_{Cr})、5日生化需氧量(BOD₅)、氨氮(NH₃-N)、悬浮物(SS)、电导率(EC)、总磷(TP)、总氮(TN)、氯离子(Cl⁻)、硫酸根离子(SO₄²⁻)、细菌总数(TBC),现场采集和实验室内分析均参照《水和废水监测分析方法》^[14]。水生生物指标主要包括着生藻类多样性指数(diversity of attached algae, DAA)、底栖动物完整性指数(benthic index of biotic integrity, B-IBI)、鱼类完整性指数

(fish index of biotic integrity, F-IBI)。水生生物样本均参照美国快速生物监测协议(rapid bioassessment protocols, RBPs)^[15]的要求进行采集。DAA根据着生藻类的种类和数量比例计算获得;B-IBI根据总分类单元数、EPT分类单元数、前3位优

势分类单元个体相对丰度、黏附者个体相对丰度、敏感类群个体相对丰度及摇蚊分类单元数6个指标计算获得^[16];F-IBI根据鱼类总分类单元数、总渔获量、雅罗鱼亚科种类百分比、耐污物种百分比、广布种百分比5个指标计算获得^[17]。

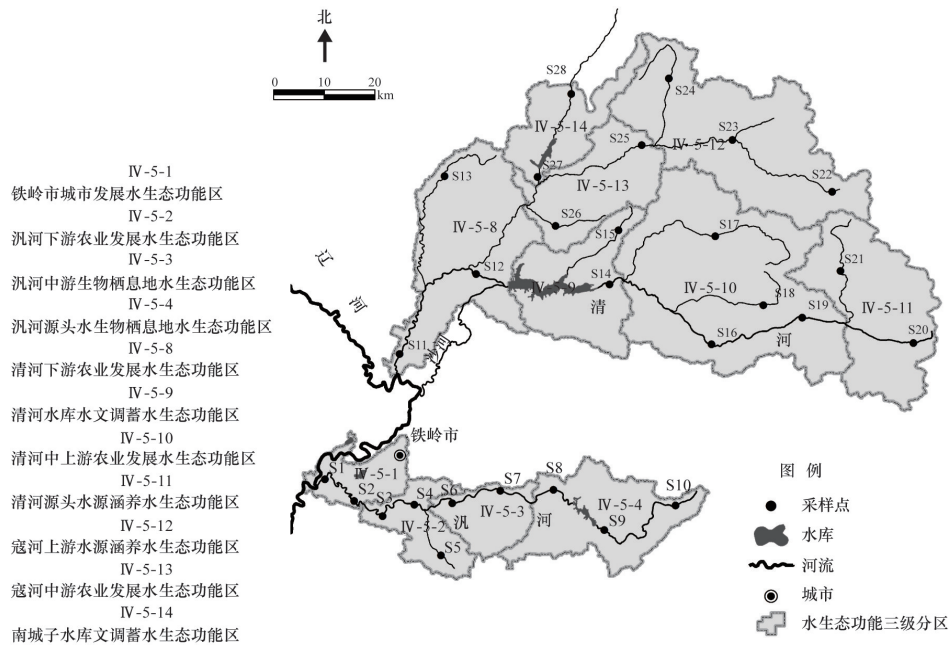


图1 辽宁省清和汛河流域水生态功能三级区采样点布设

Fig. 1 Sampling sites in the third level aquatic eco-functional zones of Qing river and Fan river basins

物理指标包括水文指标和生境(栖息地环境)指标。该指标根据 Barbour 评价方法^[18],结合水生态野外调查的实际情况,通过打分方式建立。其中,水文由河水水量现状评估、平滩流量、基流特征、峰值流量特征、流量变异程度、生态流量满足程度6项指标组成,生境由底质、栖境复杂性、河岸带植被多样性、大型水生植物分布状况、堤岸稳定性、河道变化、速度和深度结合、河漫滩土壤利用类型8项指标组成。每项指标满分5分,水文和生境指标分值的计算公式为

$$H = \frac{\sum_{i=1}^j h_i}{k} \quad (1)$$

式中, H 为水文或生境指标标准化综合评分, h_i 为第*i*项水文或生境指标的得分值, j 为指标数量, k 为水文或生境满分值。

1.3 候选指标的筛选方法

利用主成分分析(principal component analysis, PCA)对水生态野外调查与监测的12项水质理化指标、3项水生物指标、2项物理指标进行主成分提取。根据提取主成分个数累计方差>75%的原则,按照最大方差旋转法(Varimax),保留旋转因子载荷值大于0.6的指标作为下一步待筛选指标;对余下的候选指标进行正态分布检验,符合正态分布的指标采用 Pearson 相关分析,不符合正态分布的指标采用 Spearman 秩相关分析;最后根据显著性水平确定指标间的相关程度。结合

指标实际重要程度,选取其中相对独立和重要的指标作为评价指标,上述分析过程在 SPSS 18.0 统计软件中完成。

1.4 健康综合指数法

健康综合指数法是一种常见的多指标综合评价法,通过调查分析得到的数据与标准值或参照值进行比照,转化成量化值,然后加权合成,即可得到河流生态系统的健康综合指数值^[19]。根据总指数的分级数值范围,确定河流水生态系统的健康等级。健康综合指数法计算公式为

$$EHCI = \sum_{i=1}^n W_i I_i \quad (2)$$

式中, $EHCI$ 为健康综合评价指数, n 为系统评价指标个数, I_i 为指标量化值, W_i 为权重。

2 结果与分析

2.1 水生态特征分析

清河与汛河流域11个水生态功能三级区水生态野外调查与监测结果的各项指标标准化值如图2、图3所示。结果表明,清河和汛河流域有机污染物和营养物超标,主要污染物为 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 TN 和 TP 等。其中,清河下游农业发展水生态功能三级区(IV-5-8)内河流水体的 COD_{Cr} 为 $40.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, BOD_5 为 $10.20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TN 为 $1.93 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,均超过了国家V类

地表水环境质量标准(GB 3838—2002)。各水生态功能三级区水体中Cl⁻、SO₄²⁻值总体变化较小,SS、TBC 指标总体监测情况良好。位于清河与汎河中下游的水生态功能三级区(IV-

5-1、IV-5-8、IV-5-10)河流中水生生物指标值均较低,水生生态退化问题较为突出,且IV-5-8、IV-5-10两个水生态功能区河道破坏严重,水文和生境指标分值较低。

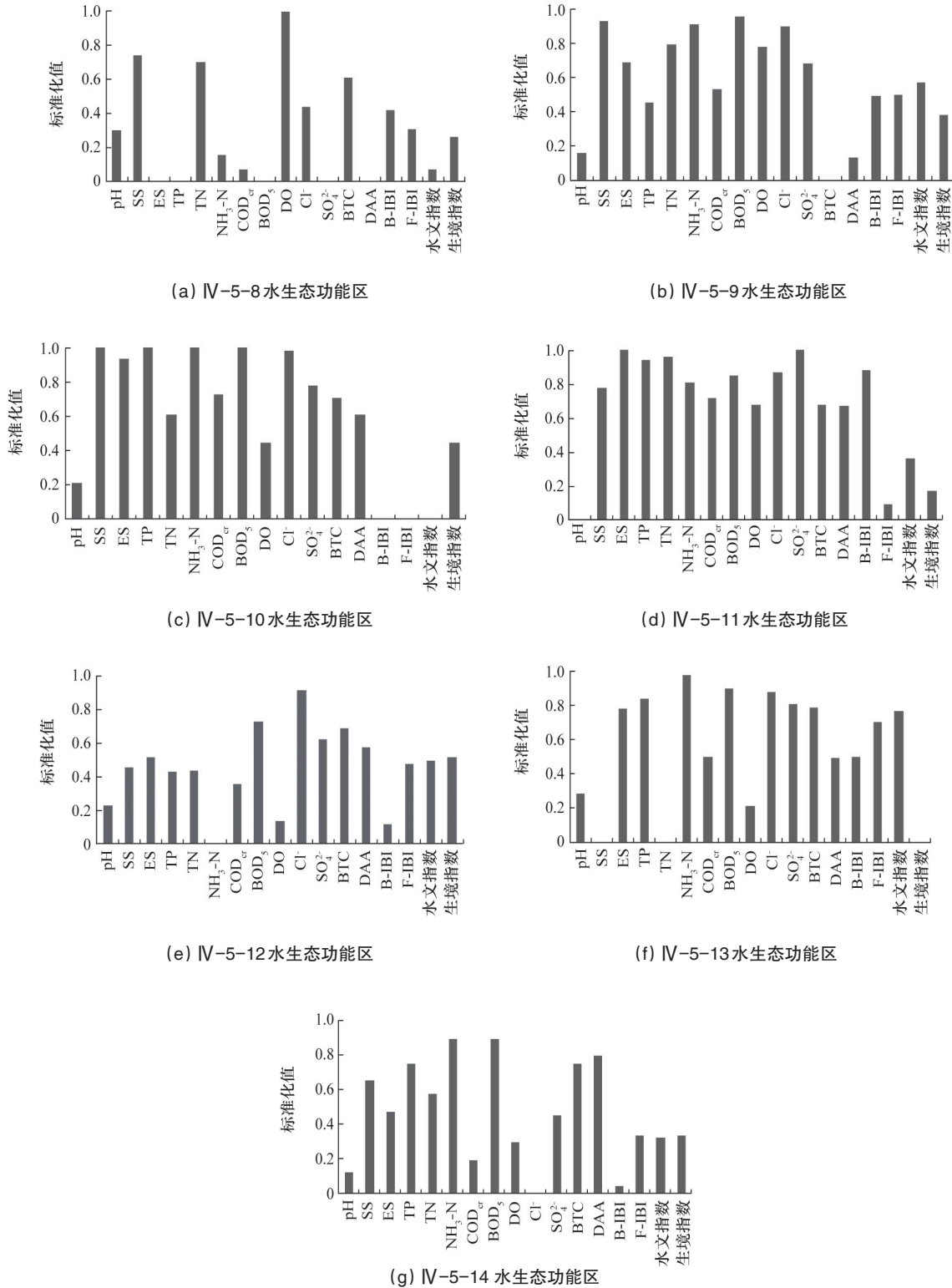


图2 清河流域水生态功能三级区河流指标的标准化值

Fig. 2 Standardization values of 17 indicators in aquatic eco-functional zones of Qing river basin

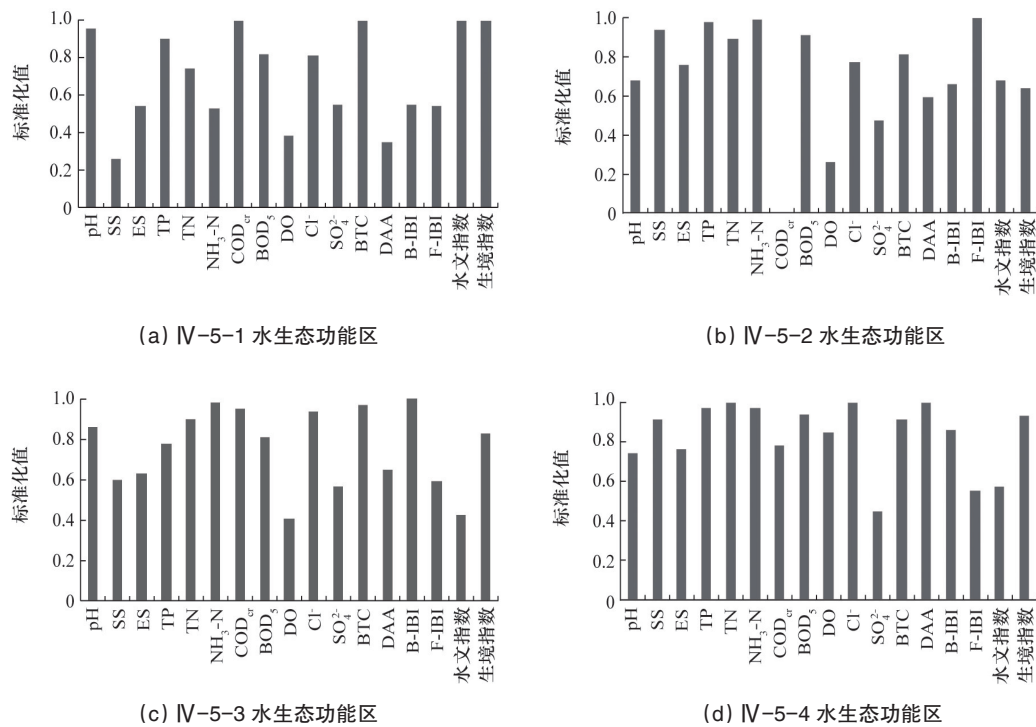


图3 汾河流域水生态功能三级区河流指标的标准化值

Fig. 3 Standardization values of 17 indicators in aquatic eco-functional zones of Fan river basin

2.2 指标体系的建立

2.2.1 候选指标体系的组成

清河和汾河流域水生态功能三级区的河流水生态系统健康评价的17项候选指标基本反映了水生生态系统的物理完整性、化学完整性与生物完整性,主要包括12项水质理化指标(pH, DO, COD_{cr}, BOD₅, NH₃-N, SS, EC, TP, TN, Cl⁻, SO₄²⁻, TBC),3项水生物指标(DAA, B-IBI, F-IBI)和2项物理指标(水文指数,生境指数)。

2.2.2 指标筛选方法

对17项指标进行主成分分析,KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)值为0.582, Bartlett球检验值为656.937,相伴概率为0,表明11个水生态功能三级区的17项指标适合进行主成分分析。按照积累方差贡献率>75%的原则提取出4个主成分(表1)。

依据因子载荷值大于0.6的原则,第一主成分包括的因子有COD_{cr}、BOD₅、TP、TN、SS、EC,反映了水体的有机污染和物理状况,其中有机污染指标贡献率最大;第二主成分包括的因子有水文指数和生境指数,反映环境因素与水生生态系统变化的关系;第三主成分包括DO、NH₃-N,反映水体营养和溶解氧特征;第四主成分包括F-IBI、B-IBI,说明水生生物指标是表征水生态系统特征至关重要的因子。藻类是表征水体初级生产力的重要生物,DAA可综合反映水体水质和水生生物生存环境的优劣,同时也是国内外河流健康评价的常用指标,保留该指标。

表1 候选指标主成分分析结果

Table 1 Principal component analysis results of the candidate indicators

指标	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
pH	0.360	-0.514	-0.018	0.175
DO	-0.122	0.067	0.902	-0.096
COD _{cr}	0.794	0.329	0.284	0.010
BOD ₅	0.944	0.017	0.121	-0.137
NH ₃ -N	0.054	-0.086	0.886	-0.239
TP	0.871	0.345	0.113	0.222
TN	-0.675	0.300	0.528	-0.072
Cl ⁻	0.224	-0.537	0.421	-0.030
SO ₄ ²⁻	0.471	-0.324	-0.440	0.579
SS	0.677	0.263	0.334	0.191
EC	0.561	-0.261	0.157	0.060
TBC	0.543	0.311	-0.004	-0.582
DAA	0.326	-0.684	0.265	0.218
B-IBI	0.177	0.207	-0.147	0.791
F-IBI	-0.080	0.239	0.328	0.902
水文指数	0.446	0.702	-0.314	0.089
生境指数	0.472	-0.662	-0.337	-0.436
方差贡献率	28.140	20.241	17.085	12.065
积累方差贡献率	28.140	48.381	65.466	77.531

根据主成分分析法筛选出 COD_{Cr}、BOD₅、TP、TN、SS、EC、DO、NH₃-N、F-IBI、B-IBI、DAA、水文指数、生境指数共 13 项指标,对这 13 项指标进行正态分布检验,均符合正态分布 ($P > 0.05$), Pearson 相关性分析结果见表 2。由表 2 可知,SS 与 TN

显著相关,EC 与 BOD₅ 和 TP 显著相关,根据清河和汎河水体有机污染严重的实际情况,保留 TN、TP 和 BOD₅,最终选取 COD_{Cr}、BOD₅、TP、TN、DO、F-IBI、B-IBI、DAA、水文指数、生境指数 10 项指标组成本次健康评价的核心指标体系。

表 2 剩余指标相关性分析结果

Table 2 Results of correlation analysis among the remaining indicators

指标	SS	EC	TP	TN	NH ₃ -N	COD	BOD ₅	DO	DAA	B-IBI	F-IBI	水文指数	生境指数
SS	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
EC	0.172	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TP	0.029	0.823**	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TN	0.850**	0.194	0.159	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NH ₃ -N	0.249	0.650	0.11	0.664*	1	—	—	—	—	—	—	—	—
COD	-0.174	0.444	0.463	0.196	0.232	1	—	—	—	—	—	—	—
BOD ₅	0.066	0.848**	0.714*	0.039	0.698	0.407	1	—	—	—	—	—	—
DO	-0.374	0.193	0.438	-0.509	0.130	0.078	0.448*	1	—	—	—	—	—
DAA	0.061	-0.330	-0.119	-0.275	0.182	-0.448	0.108	0.187	1	—	—	—	—
B-IBI	0.558	-0.534	-0.455	0.561	-0.490	-0.353	-0.516	-0.286	0.049	1	—	—	—
F-IBI	-0.499	-0.318	-0.223	-0.628*	-0.157	0.001	-0.208	0.157	0.313	-0.342	1	—	—
水文指数	0.055	-0.207	-0.204	-0.059	0.289	-0.239	-0.094	-0.399	0.412	-0.016	0.314	1	—
生境指数	0.236	-0.371	-0.465	0.243	-0.476	-0.383	-0.628*	-0.293	-0.326	0.561	0.138	0.052	1

注: *和**分别表示相关性达显著和极显著水平。

2.3 河流健康状况评价

2.3.1 评价指标体系权重的计算与评分标准

构建各指标的水生态系统健康等级标准,其中水体理化指标主要依据 GB 3838—2002 地表水环境质量标准^[20]进行确定;B-IBI 评价标准采用四等分法进行确定^[12];F-IBI 根据三分法确定^[13],DAA 根据文献^[21]确定。应用 PCA 法,将选定的 10 项指标重新进行主成分分析,通过每项指标对应主成分的特征值、方差贡献率、累计方差贡献率以及旋转因子载荷值计

算出各指标的权重^[22,23](表 3)。权重的计算公式为

$$b_j = \frac{a_j \theta_l}{\sum_{l=1}^k \theta_l} \quad (3)$$

其中, $a_{jl} = \sqrt{\frac{\mu_{jl}}{\lambda_l}}$, μ_{jl} 为第 j 个指标对应于第 l 个主成分的初始因子载荷值, λ_l 为第 l 个主成分对应的特征值, θ_l 为第 l 个主成分对应的方差贡献率。

表 3 各指标权重及其水生态系统健康评价标准

Table 3 Weights of indexes and the standard of health evaluation

分值	水体理化指标 / (mg · L ⁻¹)					水生物指标			物理指标
	TP	TN	COD _{Cr}	BOD ₅	DO	DAA	F-IBI	B-IBI	水文指数
0	0.30~0.40	1.50~2.00	30~40	6.0~10.0	2.0~3.0	0	5~9	0~0.92	0~0.2
1	0.20~0.30	1.00~1.50	20~30	4.0~6.0	3.0~5.0	0~1.0	10~13	0.92~1.83	0.2~0.4
2	0.10~0.20	0.50~1.00	15~20	3.0~4.0	5.0~6.0	1.0~2.0	14~17	1.83~2.75	0.4~0.6
3	0.02~0.10	0.20~0.50	≤15	≤3.0	6.0~7.5	2.0~3.0	18~21	2.75~3.66	0.6~0.8
4	≤0.02	≤0.20	≤15	≤3.0	≥7.5	≥3.0	22~25	≥3.66	0.8~1
权重	0.127	0.084	0.069	0.119	0.078	0.063	0.125	0.107	0.103

对河流健康状况的评分过程分为 3 步:首先,依据评价标准,通过五分法^[24]对各指标进行评分;其次,通过加权平均法计算各指标分值;最后为便于区分样点间得分的差异,将各指标加权平均后的得分乘以 2.5,使得 10 项指标的分值位于 0~10 左右,计算得到河流生态系统健康综合评分,满分为 100 分。将分值划分为 0~20、>20~40、>40~60、>60~80 和 >80~100 共 5 个等级,分别代表河流生态系统的极差、较差、一般、亚健康和健康等级状况。

2.3.2 水生态功能三级区河流健康状况评价结果

根据以上数据与标准,运用综合健康指数法对水生态功能三级区水生态系统健康状况进行评价,计算出清河和汎河水生态功能三级区水生态系统的综合健康指数(图 4)。由图 4 可知,清河、汎河流域 11 个水生态功能三级区中,IV-5-4 水生态功能三级区河流分值最高,为“健康”等级,IV-5-1、IV-5-2、IV-5-3、IV-5-9、IV-5-10、IV-5-11 共 6 个水生态功能三级区为“亚健康”等级,IV-5-12、IV-5-13、IV-5-14 共 3 个水

生态功能三级区为“一般”等级, IV-5-8水生态功能区河流健康等级最低, 为“较差”等级。

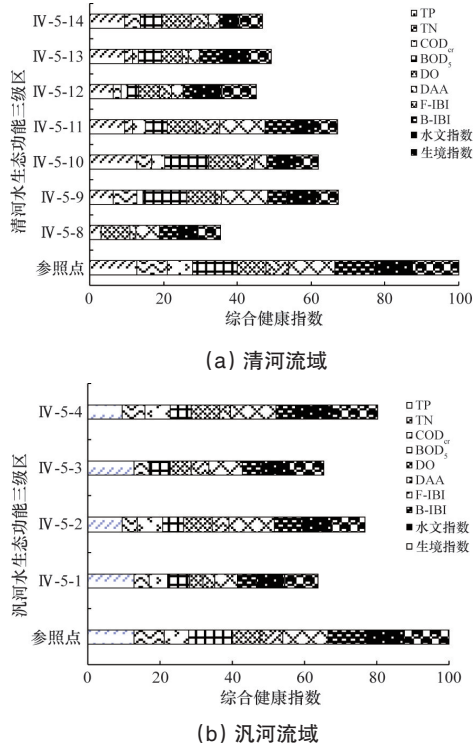


图4 流域水生态功能三级区的河流健康评价

Fig. 4 River health assessment in the third level aquatic eco-functional zoning in Qing river and Fan river basins

3 讨论

3.1 流域水生态功能三级区健康状态特征分析

河流健康评价结果表明, 清河、汎河流域在空间上大体呈现出从源头到下游水生态系统健康状况逐渐恶化的趋势。

清河流域7个水生态功能三级区的水生态系统中, 清河下游农业发展水生态功能区(IV-5-8)综合健康指数为36, 为“较差”健康等级, 这与该水生态功能区处于清河下游, 农业生产和养殖业较为发达具有密切关系。其中, 在化学完整性方面, COD_{Cr} 值为 $47\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, BOD_5 值为 $9.1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TN 值为 $2.26\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 均超过了国家地表水环境质量V类标准; 在物理完整性方面, 水文和生境两项得分均在0.4以下; 在水生物完整性方面, DAA 值为 1.32, B-IBI 值为 1.95。在清河流域的其他6个水生态功能三级区(IV-5-9、IV-5-10、IV-5-11、IV-5-12、IV-5-13、IV-5-14)中, IV-5-14在化学完整性方面分值较低(TP 值为 $0.72\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TN 值为 $2.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), IV-5-11在物理完整性方面得分较低(水文指数为45, 生境指数为34), IV-5-10在生物完整性方面得分较低(F-IBI 值为4, B-IBI 值为0.46)。综上, IV-5-9、IV-5-10、IV-5-11为亚健康等级, IV-5-12、IV-5-13、IV-5-14为一般等级。

汎河流域4个水生态功能三级区的水生态系统中, 汎河源头水生物栖息地水生态功能区(IV-5-4)地处汎河自然保护区核心区, 植被茂密, 人为活动干扰小, 综合健康指数为81, 达到了健康等级。其中, 在化学完整性方面, COD_{Cr} 值为

$13\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, BOD_5 值为 $3.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TN 值为 $0.22\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 在物理完整性方面, 水文指标和生境指标得分均在0.8以上; 在水生物完整性方面, DAA 值为 2.83, B-IBI 值为 3.24。汎河流域的3个水生态功能三级区(IV-5-1、IV-5-2、IV-5-3)水质理化指标监测值均达到了国家地表水环境质量IV类水质标准, 其中, IV-5-3的水文指数为38、生境指数为46, IV-5-1的DAA 值为0.9、F-IBI 值为10, 总体都达到了亚健康等级, 河流生态系统完整性较好。

3.2 流域水生态功能三级区生态系统健康水平与水质指标关系

为验证水生态功能三级区水生态系统健康评价结果的科学性, 本文采用未参与水生态系统健康综合评价的 NH_3-N 和 EC 两项指标(图5)与评价结果进行对比分析。结果表明, 各采样点 NH_3-N 和 EC 的监测值在水生态功能三级区水生态系统健康与不健康等级间差异明显, 其变化趋势与评价结果基本吻合。由此可见, 清河和汎河水生态功能三级区水生态系统健康评价结果可反映研究区域河流水生态系统的生态环境总体特征。

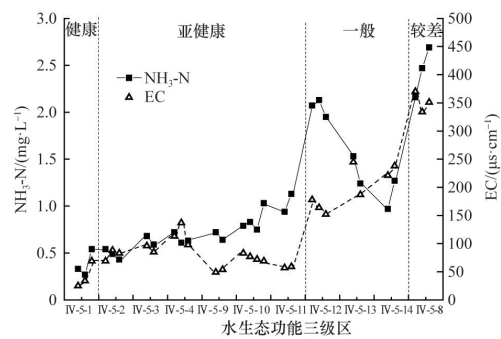


图5 水生态功能三级区 NH_3-N 和 EC 分析

Fig. 5 Analysis results of NH_3-N and EC in the third level aquatic eco-functional zoning

3.3 流域水生态功能三级区健康影响因素

流域生态系统健康评价指标体系要全面反映在多尺度、多因素压力特征下河流面临的压力和存在的问题。本文构建的河流健康综合评价指标体系包括12项水质理化指标、2项物理指标和3项水生生物指标, 可反映研究地区典型流域的水质、水文、生境以及水生生物状况。位于清河和汎河源头的水生态功能三级区, 各项指标监测状况良好。清河和汎河流域中下游地区的水生态功能三级区, 受农业非点源污染的影响较明显, 水体中的营养物含量较高, TN、TP 值超过国家地表水质IV类标准, 且鱼类和藻类数量稀少。位于辽河干流汇入口的水生态功能三级区, 人为活动破坏严重, 明显受城市生活污水排放的影响, 水体中有机物和营养物质含量高, 河流生境受到较为强烈的干扰, 应在河流两岸加强植被缓冲带建设。本文仅根据丰水期的监测和调查数据, 完成了清河和汎河流域水生态功能三级分区的水生态系统健康评价, 下一步应对不同水期进行长时间定点观测与水生态调查, 进而对不同尺度上河流水生态系统健康进行分期与分类评价, 及确定流域水生态系统管理目标。

4 结论

1) 结合辽北地区清河、汛河流域水生生态功能三级区,通过主成分分析与相关性分析,从17个候选指标中筛选出10个指标,所建立的综合指标体系能够从物理、化学、生物方面反映中国东北地区典型河流生态系统的自然属性。为此,根据水生生态功能区的不同类型,可选择COD_{cr}、BOD₅、TP、TN、DO、F-IBI、B-IBI、DAA、水文指数及生境指数作为辽河流域的水生态管理目标。

2) 采用综合健康指数法对河流生态系统健康进行评价,清河、汛河流域的11个水生生态功能三级区中,1个三级区的河流生态系统为健康等级,6个为亚健康等级,3个为一般等级,1个为较差等级。河流生态系统健康状态从河流源头至入辽河干流河口呈现逐渐恶化的空间分布特征。为此,在进行河流生态建设与综合管理时,应根据水生生态功能三级区的分区特征与问题,因地制宜地加强水污染综合治理与水生态科学管理。

参考文献(References)

- [1] 张楠, 孟伟, 张远, 等. 辽河流域河流生态系统健康的多指标评价方法[J]. 环境科学研究, 2009, 22(2): 163-170.
Zhang Nan, Meng Wei, Zhang Yuan, et al. Multi-variable assessment of river ecosystem health in Liao River Basin[J]. Research of Environmental Science, 2009, 22(2): 163-170.
- [2] James R K. Assessments of biotic integrity using fish communities[J]. Fisheries, 1981, 6(6): 21-27.
- [3] Wright J F, Sutcliffe D W, Furse M T. Assessing the biological quality of fresh waters: RJPACS and other techniques[M]. Oxford, UK Ambleside: the Freshwater Biological Association, 2000: 1-24.
- [4] Hughem R M, Paulsen S G, Stoddard J L. EMAP-surface water: A multi-assemblage probability survey of ecological integrity in the USA [J]. Hydrobiologia, 2000, 17(5): 429-443.
- [5] Petersen R C. The RCE 1 a riparian channel, and environmental inventory for small streams in the agriculture landscape[J]. Freshwater Biology, 1992, 27(6): 295-366.
- [6] Environment Agency. River habitat survey: 1997 field survey guidance manual incorporating sercon[R]. UK: Center for Ecology and Hydrology, National Environment Research Council, 1997.
- [7] Raven P J, Holmes N T H, Naura M, et al. Using river habitat survey for environmental assessment and catchment planning in the UK[J]. Hydrobiologia, 2000, 17(7): 359-367.
- [8] Ladson A R, White L J. An index of stream condition: Reference manual (second edition)[M]. Melbourne: Department of Natural Resources and Environment, 1999: 1-65.
- [9] 徐祖信. 河流污染治理规划理论与实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003.
Xu Zuxin. Planning theory and practice of river pollution control[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2003.
- [10] 刘晓燕, 张建中, 张原锋. 黄河健康生命的指标体系[J]. 地理学报, 2006, 61(5): 451-460.
Liu Xiaoyan, Zhang Jianzhong, Zhang Yuanfeng. Indicators of the healthy Yellow River[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(5): 451-460.
- [11] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探[J]. 水科学进展, 2005, 16(3): 349-355.
Zhao Yanwei, Yang Zhifeng. Preliminary study on assessment of urban river ecosystem health[J]. Advances in Water Science, 2005, 16(3): 349-355.
- [12] 李法云, 范志平, 张博, 等. 辽河流域水生生态功能一级分区指标体系与技术方法[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(5): 83-89.
Li Fayun, Fan Zhiping, Zhang Bo, et al. An index system and a technical method for the first level aquatic ecoregion in the Liaohe river basin[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2012, 28(5): 83-89.
- [13] 刘素萍. 辽河流域三级水生生态功能分区研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2011: 1-81.
Liu Suping. The third level aquatic eco-functional zoning of Liao River basin[D]. Shenyang: Liaoning University, 2011: 1-81.
- [14] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration. Monitoring and analysis method of water and waste water [M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [15] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, et al. Rapidbio-assessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish[M]. 2nd ed. Washington D C: US Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999: 1-10.
- [16] 张远, 徐成斌, 马溪平, 等. 辽河流域河流底栖动物完整性评价指标与标准[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 919-927.
Zhang Yuan, Xu Chengbin, Ma Xiping, et al. Biotic integrity index and criteria of benthic organisms in Liao River Basin[J]. Acta Scientiae Circumstantiae 2007, 27(6): 919-927.
- [17] 宋智刚, 王伟, 姜志强, 等. 应用F-IBI对太子河流域水生生态健康评价的初步研究[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(6): 481-487.
Song Zhigang, Wang Wei, Jiang Zhiqiang, et al. An assessment of ecosystem health in Taizi River basin using F-IBI[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(6): 481-487.
- [18] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 928-936.
Zheng Binghui, Zhang Yuan, Li Yingbo. Study of indicators and methods for river habitat assessment of Liao River Basin[J]. Acta Scientiae Circumstantiae 2007, 27(6): 928-936.
- [19] 李凤青, 唐涛, 蔡庆华, 等. 基于河流环境与生物复合评价指标辽北地区河流生态健康[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(1): 38-45.
Li Fengqing, Tang Tao, Cai Qinghua, et al. Research on river health comprehensive assessment: Based on river environment and aquatic organisms[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2010, 16(1): 38-45.
- [20] 国家环境保护总局. GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration. GB 3838—2002 Environmental quality standard for surface water[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [21] 王心芳, 魏复盛. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
Wang Xinfang, Wei Fusheng. Water and wastewater monitoring analysis method[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [22] 吴天福, 邓华强, 伍人涛. 基于主成分分析的力量结构指标权重计算[J]. 微计算机信息, 2009, 25(16): 264-265.
Wu Tianfu, Deng Huaqiang, Wu Rentao. Calculation of the force structure's weight based on PCA[J]. Microcomputer Information, 2009, 25(16): 264-265.
- [23] 韩广, 张桂芳. 风成沙丘固定程度的定量分析[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 60-61.
Han Guang, Zhang Guifang. A quantitative analysis on fixing extent of aeolian sand-dunes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(7): 60-61.
- [24] 孙雪岚, 胡春宏. 关于河流健康内涵与评价方法的综合评述[J]. 泥沙研究, 2007(5): 74-80.
Sun Xuelan, Hu Chunhong. Review on river health connotation and assessment method[J]. Journal of Sediment Research, 2007(5): 74-80.

(责任编辑 王媛媛)