

沿海城市河流鱼类生境适宜度 季节特性分析

刘超利, 周兆娜, 辛晓东, 栾婷婷

烟台大学土木工程学院, 山东 烟台

收稿日期: 2022年11月16日; 录用日期: 2022年12月15日; 发布日期: 2022年12月27日

摘要

为研究沿海城市河流不同季度下鱼类生境适宜度, 在逛荡河设置12个采样点, 于2019年1月至10月进行了四次采样工作, 并采用生境调研表记录河流周边状况。筛选出了流速(V)、水深(Dep)、底质(Sub)、溶解氧(DO)、氨氮(NH₃-N)、护坡植被(Veg)、水岸交接(Bank)七个环境因子, 作为耐受性鱼类鲫鱼在不同季节的生境适宜度(SI)评估的依据, 用以表征沿海城市河流的生态健康状况, 揭示目标鱼类对水环境因子的响应机制。由此建立沿海城市河流生态健康模型, 进一步评价沿海城市河流生态健康。研究表明, 鲫鱼生境适宜度受到逛荡河DO和NH₃-N等水质因子的影响大, 这对沿海城市水体水环境深化改善及生态健康修复具有重要的理论和实际指导意义。

关键词

沿海城市河流, 季节变化, 生境适宜度, 河流健康评价

The Analysis of Seasonal Characteristics of Fish Habitat Suitability in Coastal Urban Rivers

Chaoli Liu, Zhaona Zhou, Xiaodong Xin, Tingting Luan

School of Civil Engineering, Yantai University, Yantai Shandong

Received: Nov. 16th, 2022; accepted: Dec. 15th, 2022; published: Dec. 27th, 2022

Abstract

In order to study the fish habitat suitability of coastal urban rivers in different seasons, 12 sam-

pling sites were set up in Guangdang River, and four sampling operations were conducted from January to October 2019, the habitat investigation table was used to record the condition of the river. The article screens out the factors, such as flow velocity (V), water depth (Dep), substrate (Sub), dissolved oxygen (DO), ammonia nitrogen (NH₃-N), slope protection vegetation (Veg), and waterside transfer (Tra), as indicators for the assessment of habitat suitability (SI) in different seasons for different life stages of Crucian carp in the Guangdang river. It can be used to characterize the ecological health status of coastal rivers and reveal the response mechanism of target fish to water environmental factors. Therefore, the river ecological health model of coastal cities was established to further evaluate the river ecological health of coastal cities. The results showed that the habitat suitability of Crucian carp was influenced by DO and NH₃-N, which had important theoretical and practical significance for water environment improvement and ecological health restoration in coastal cities.

Keywords

Coastal Urban Rivers, Seasons Change, Habitat Suitability, River Health Assessment

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 背景

河流是自然生态系统重要的生态走廊[1]。在维持河岸生态系统和人类社会方面具有重要作用[2]。是陆地和水生生态系统物质循环、能量流动和信息交换的主要渠道,发挥着生态功能[3]。城市河流作为人类活动与自然过程交互作用最强烈的区域之一,普遍面临着水污染、栖息地破坏和生物多样性减少等生态问题[4]。水力条件单一、洪水峰值增加和基流减少;岸边带缺失及河床和堤岸被硬化后,水生生物在高流量时缺乏避难所;水质变差,严重地减少河流生物群落的存在。大坝将河流转化为静水水库,通过降低流速和增加水力停留时间,极大地改变了水文状况[5] [6],导致鱼类洄游路径堵塞、富营养化等问题[7] [8]。

沿海城市水体受到潮汐的影响,在复杂水动力扰动的情况下[9],表现出更为复杂的生态系统特征,并且沿海城市河流短且小,水流情况较为复杂[10]。并且由于水资源匮乏,多修建橡胶坝,起到了对海水的充分利用及涵养水源的作用,但同时也极大地改变了河流自然水文状态。水动力对生态系统的影响具有空间延展性和时间滞后性等累积效应,亟需研究水动力变化对生态系统的影响[11]。河流健康状态的评价指标体系也根据具体的地域特征而定。从 20 世纪 80 年代开始,外国学者就开始尝试评价河流的健康状态,也已成为体系。Tennant 最早提出了最小生态流量,利用水量来评估河流的生态健康状况[12];之后,1984 年英国淡水生态研究所提出 RIVPACS 法和 Karr 于 1981 年提出的 IBI 法开始利用河流生物群落对河流健康进行评估。但目前针对沿海城市河流健康的评价体系尚没有较为成熟的模型应用和推广。

本研究主要以鱼类栖息地适宜度评估为基础,综合沿海城市河道水量流速不稳定、水质人为干预较大等特征,研究目标鱼类对不同生境因子的响应,根据鱼类的生境适宜度指数(SI, Suitable Index),揭示目标鱼类不同生长期对水环境因子的响应机制,由此建立城市河道生态健康模型,探讨水质水动力扰动后的鱼类生境适宜度[13] [14]。

2. 材料与方法

2.1. 研究区域

逛荡河位于山东省烟台市莱山区(图 1), 城市化现象比较严重, 受到潮汐的影响大, 在复杂水动力扰动的情况下, 具有复杂的生态系统特征, 是一个典型的沿海城市河流。逛荡河发源于莱山区凤凰山, 途经住宅区、高校区和商业区, 后经入海口汇入黄海, 全长 10.1 km, 河道面积 0.72 km²。气候属中纬度温带海洋性季风气候类型, 年平均气温 12℃, 年平均降水量大于 700 mm, 季节性强, 汛期和枯水期河流流量相差大。



Figure 1. Geographical location of the Guangdang River

图 1. 逛荡河地理位置

2.2. 样品采集

为了获取鲫鱼生境的水环境因子数据, 我们结合现场实际情况, 采用全河段大尺度生境调研的方式, 对逛荡河流进行了为期一年的水质监测及水环境生境调研。我们一共选取 12 个采样点, 对其进行了冬季(2019 年 01 月)、春季(2019 年 04 月)、夏季(2019 年 08 月)、秋季(2019 年 10 月)四次采样工作, 并采用生境调研表记录河流周边状况。

2.3. 鱼类生境模型建立

本研究在 Casimir 生境模型的基础上, 基于模糊数学理论与 ArcGIS 平台, 结合沿海城市河流大尺度生境调研影响因子, 进一步将所筛选出来的水文、水质、河床地貌因子结合起来, 构建出沿海城市河流生态健康模型。

Table 1. Classification and implication of water environmental factors

表 1. 水环境因子分级及含义

	Vel	Dep	Sub	DO	NH ₃ -N	Veg	Tra	SI
L	流速慢	水深低	颗粒密	浓度低	浓度低	植被覆盖率低, 植物类型少	自然程度低, 水泥渠道、石头垒砌	低
M	流速中	水深中	颗粒中	浓度中	浓度中	植被覆盖率中, 植物类型较多	自然程度中, 植被护坡	中
H	流速快	水深高	颗粒疏	浓度高	浓度高	植被覆盖率高, 植物类型多	自然程度高, 自然河床, 泥沙淤积	高

根据已有资料和鱼类专家知识,进行了鲫鱼的模糊集与模糊规则的制定,制定模糊规则时,我们会根据 IF-THEN 语句,即“如果指标 1 为高/中/低,指标 2 为高/中/低,且指标 3 为高/中/低时,那么适宜度指数 SI 为高/中/低”,对鱼类各个阶段的生境适宜度进行判定。并且采用分段式的评估方法,将整个模拟过程分成 3 个阶段,并将水环境因子分级(表 1),由 L (Low)、M (Medium)、H (High)来表征环境因子的水平,得出鲫鱼成鱼期的鱼类生境适宜度值(Suitability Index, SI),其中 SI1、SI2、SI3 均使用无量纲来表征,数值范围为 0~1,0 表示极低是最不利于鱼类生存的生境条件,1 则表示最适宜鱼类生存的生境条件,SI3 值作为最终的生境适宜度指数。其中 SI1、SI2 和 SI3 均使用无量纲来表征并且它们的数值范围为 0-1。最不利于鱼类生存的生境条件用 0 表示,与此同时最适宜鱼类生存的生境条件则用 1 来表示。最终的生境适宜度指数用 SI3 表示。

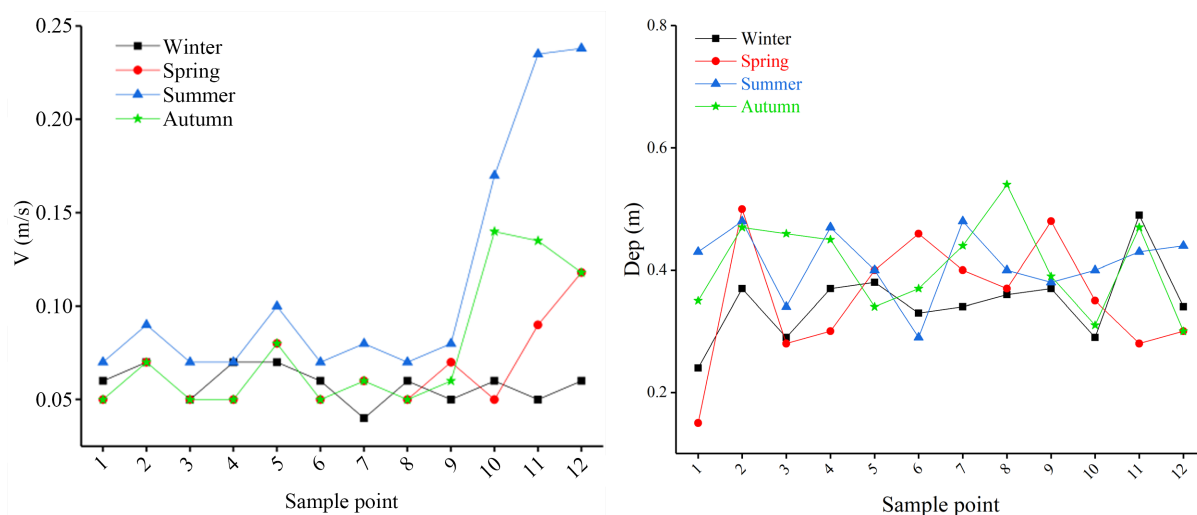
为了更加直观地展现在一年内逛荡河对于目标鱼类的生境适宜度,利用 Casimir 生境模型与 ArcGIS 软件相结合的方式,获得鱼类在不同季节的生境适宜度分布,从而以空间展布的形式展现出不同季节下逛荡河对于不同鱼类的生境适宜度。

3. 结果

3.1. 不同季节生境因子对比状况

根据研究发现,逛荡河整体的水量较小并且流速较慢,不同季节的生境因子变化也相对较小。从图 2 中可以看出,逛荡河水流速度较低,大多位于 0.1 m/s 以下,仅在靠近河口处流速变化相对较大,最高点出现在夏季河口处达到了 0.238 m/s。从季节上看,夏季的水流速度明显高于其他季节。河流水深多位于 0.2 m~0.5 m 之间,多呈相交错落趋势无明显季节性差异。逛荡河夏秋季 DO 浓度较低,平均浓度在 5 mg/L 左右,最低值出现在夏季 0.15 mg/L,冬春季 DO 浓度明显高于夏秋季,最高值可达到 16.4 mg/L。春秋氮浓度值较低,夏季逛荡河的 NH₃-N 浓度值出现最高值,最高达到 1.964 mg/L,水质较差,逼近地表 V 类水含量。

逛荡河底质颗粒较为细腻多为黏土或淤泥,在四季中无明显变化。护坡植被随季节性变化,在冬天凋落,春夏季状况较好,能够达到级别 4 即植被率介于 60%~80%之间,有 4~5 种植物类型等级;水岸交接是河流整治已经完成的工作,短期内不会出现大的变化,受城市化的影响,多是水泥渠道和石头垒砌而成,自然护坡较少。



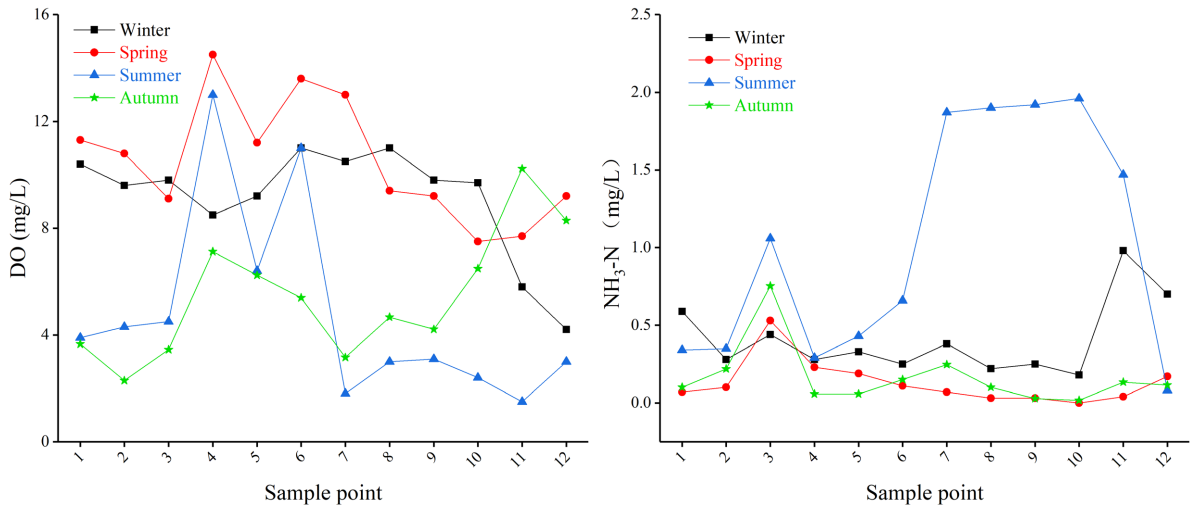
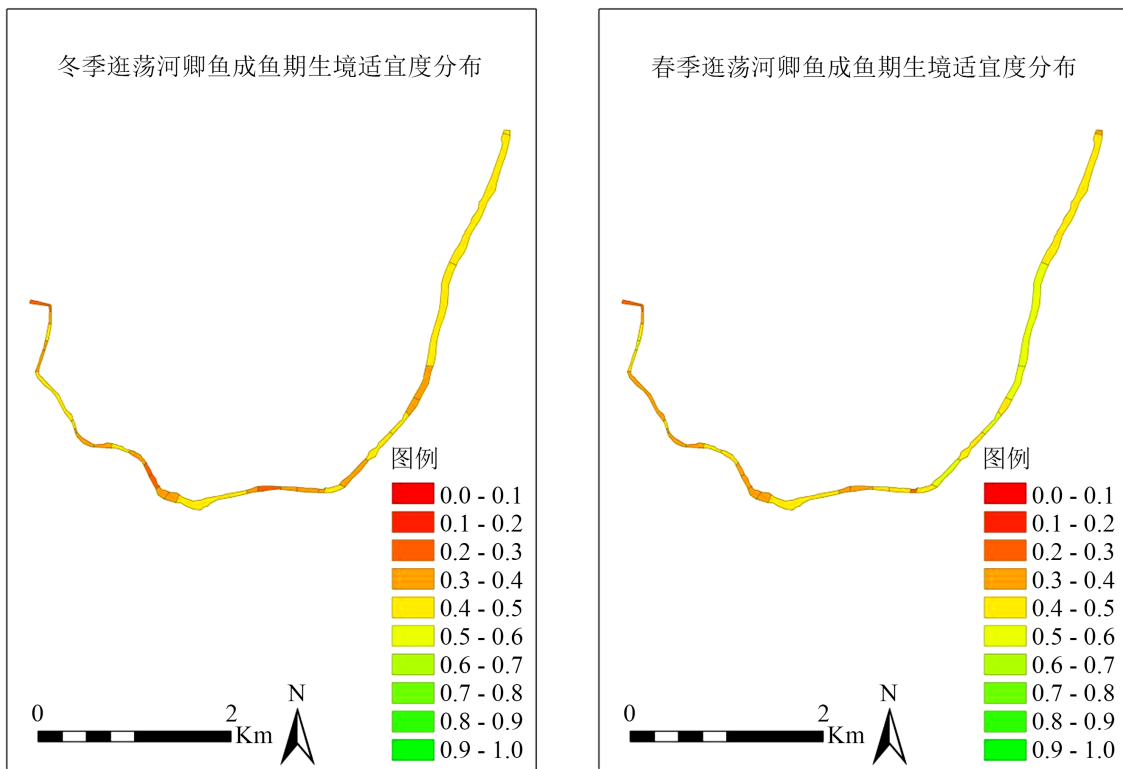


Figure 2. Habitat factors of Guangdang river under seasonal change
图 2. 季节变化下逛荡河生境因子

3.2. 全河段下鲫鱼生境适宜度评价模型

图 3 显示了四个季节成鱼期鲫鱼在逛荡河各河段的生境适宜度。冬季成鱼期鲫鱼进入冬眠期，因而参考意义不大。从季节跨度上来看，一年四季鲫鱼的生境适宜度都普遍偏高，都位于 0.4 及以上，没有出现明显的极度不适宜的斑块。其中春季和秋季有较长的河段生境适宜度都处于较高水平，春季生境适宜度指数达到 0.6 及以上的斑块面积占总面积的 81.77% 而秋季则达到了 80.59%。与之相比，夏季只出现了部分优质栖息地，其生境适宜度指数达到 0.6 及以上的斑块面积只占总面积的 27.87%。



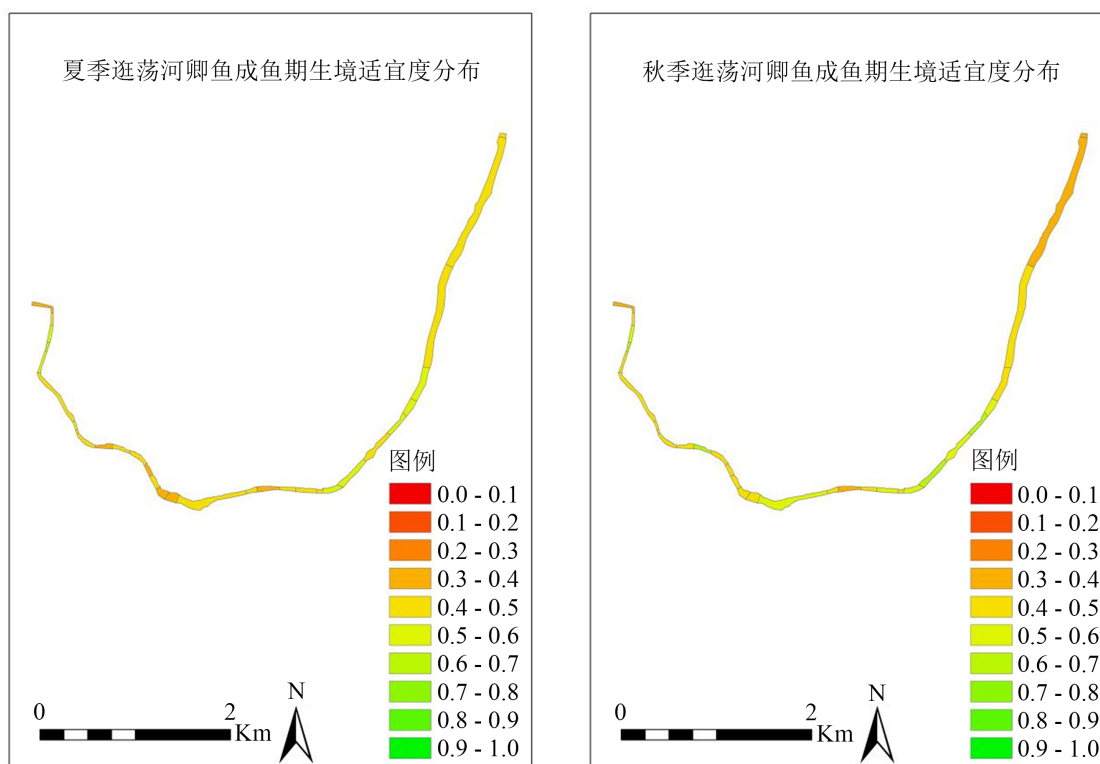


Figure 3. Habitat suitability distribution of Crucian carp in wandering river

图 3. 逛荡河鲫鱼生境适宜度分布

4. 讨论

通过实地调研、同步观测、实验室分析、模型建立，对逛荡河整体水环境进行综合评价，在此基础上建立沿海城市河流生态健康模型，通过模拟以空间展布的形式对目标鱼类在逛荡河不同季节、不同区域的生境适宜度进行分析，对逛荡河生态健康进行了诊断。四季鲫鱼成鱼的生境适宜度都处于良好状态，并且在春季和秋季有较长的河段出现了生境适宜度处于 0.6 以上。但也可以看出生境一般的斑块多位于河流中上游河段，考虑到可能是河流中上游河段水深较浅流速较低的原因。在季节上看，呈现出了春季和秋季适宜度高于冬季和夏季。夏季的生境适宜度略差，大多处于 0.4~0.6 之间，可能是夏季的溶解氧浓度过低，并不适宜鲫鱼的生存。不同鱼类对溶解氧浓度的要求不同，鲫属鲫鱼具有耐低氧和耐缺氧的能力，但一般温水鱼类及其有关生物群生产或栖息水域的溶解氧浓度应在 5 mg/L 以上，过低的溶氧并不适于鲫鱼的长期生长。

5. 结论

逛荡河整体的水量很小，因此流速(V)很慢，水深(Dep)较浅，不同季节的变化也较小；护坡植被(Veg)在冬天会凋落，其余季节量化起来看基本不变，水岸交接(Tra)更是河流整治已经完成，短期内不会出现大的变化。

水质方面，夏季逛荡河的 CODMn、NH₃-N、TP 和浊度等指标浓度值均最高，DO 浓度较低，降雨也引起面源污染的涌入；春、秋季各项指标浓度值处于中游水平；冬季各项指标特征基本与夏季相反。因此比较来看，春、冬两季水质较好，秋季次之，夏季最次。

春季河流 DO 浓度过高，成鱼期鲫鱼更适合夏、秋季节的 DO 水平，因而夏、秋季节 SI 值更高。沿

海城市的 DO 和 NH₃-N 等水质因子由于变化较频繁,对鱼类生境影响较大。因此后续要不断加强沿海城市河流水质因子的控制和改善,提升目标鱼类的生境适宜度。

参考文献

- [1] Shan, C., Dong, Z., Lu, D., Xu, C., Wang, H., Ling, Z. and Liu, Q. (2021) Study on River Health Assessment Based on a Fuzzy Matter-Element Extension Model. *Ecological Indicators*, **127**, Article ID: 107742. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107742>
- [2] Zhang, P., Cai, L., Yang, Z., Chen, X., Qiao, Y. and Chang, J. (2018) Evaluation of Fish Habitat Suitability Using a Coupled Ecohydraulic Model: Habitat Model Selection and Prediction. *River Research and Applications*, **34**, 937-947. <https://doi.org/10.1002/rra.3339>
- [3] Silva, D.D.S., Goncalves, B., et al. (2021) A Multibiome Approach in the Caged Neotropical Fish to Assess the Environment Health in a River of Central Brazilian Cerrado. *Science of the Total Environment*, **751**, Article ID: 141632. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141632>
- [4] Zhao, Y.W., Zhou, L.Q., Dong, B.Q. and Dai, C. (2019) Health Assessment for Urban Rivers Based on the Pressure, State and Response Framework—A Case Study of the Shiwuli River. *Ecological Indicators*, **99**, 324-331. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.023>
- [5] Maeck, A., Delsontro, T., et al. (2013) Sediment Trapping by Dams Creates Methane Emission Hot Spots. *Environmental Science & Technology*, **47**, 8130-8137. <https://doi.org/10.1021/es4003907>
- [6] Finlay, J.C., Small, G.E. and Sterner, R.W. (2013) Human Influences on Nitrogen Removal in Lakes. *Science*, **342**, 247-250. <https://doi.org/10.1126/science.1242575>
- [7] Piper, A.T., Wright, R.M., Walker, A.M. and Kemp, P.S. (2013) Escapement, Route Choice, Barrier Passage and Entrainment of Seaward Migrating European Eel, *Anguilla anguilla*, within a Highly Regulated Lowland River. *Ecological Engineering*, **57**, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.030>
- [8] Sorokovikova, L., Tomberg, I., Sinyukovich, V. and Ivanov, V. (2020) Dynamics of Nutrient Concentrations and Eutrophication of the Waters in Barguzin Bay (Lake Baikal). *Limnology and Freshwater Biology*, No. 4, 890-891. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-890>
- [9] 夏振民. 复杂水动力条件下沿海城市水体生态健康诊断[D]: [硕士学位论文]. 烟台: 烟台大学, 2020.
- [10] 王超, 王沛芳. 城市水生生态系统建设与管理[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [11] 陈兴茹. 国内外河流生态修复相关研究进展[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(5): 122-128.
- [12] Tennant, H., et al. (1983) Menu-Based Natural Language Understanding. In *Proceedings of the 21st Annual Meeting on Association for Computational Linguistics (ACL'83)*. Cambridge Massachusetts, 15-17 June 1983, 151-158. <https://doi.org/10.3115/981311.981341>
- [13] 英晓明, 崔树彬, 刘俊勇, 等. 水生生物栖息地适宜性指标的模糊综合评判[J]. 东北水利水电, 2007, 25(7): 60-63.
- [14] Fairweather, P.G. (1999) State of Environment Indicators of "River Health" Exploring the Metaphor. *Freshwater Biology*, **41**, 211-220. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00426.x>