

天津近岸渔港水质空间分布特征评价

翟浩杰, 苑辉, 韩少强, 郑涛, 易晓娟*

天津市生态环境监测中心, 天津

收稿日期: 2024年9月27日; 录用日期: 2024年11月25日; 发布日期: 2024年12月3日

摘要

本研究基于改进的TOPSIS构建了EWT模型,并结合空间差值、多元统计等方法对天津近岸渔港水环境质量、水质空间分布、污染特征及成因进行了综合分析。通过构建EWT模型,对天津近岸渔港水环境质量作出评价,并根据优劣程度进行了排名。从研究结论可以看出,渔船舱底含油污水对研究区域水环境的影响程度要大于生活污水的影响;pH、DO、COD和石油类等污染因子受舱底含油污水的排放的影响较大,无机氮、非离子氨、活性磷酸盐等污染因子受生活污水的排放影响较大。本研究有效的收集和系统化的管理能够有效缓解渔船活动对近岸造成污染,沿海各渔港应针对在完善含油废水收集的基础上,加强生活污水的收集管理措施,从而达到提高近岸水环境质量的目的是。

关键词

EWT模型, 水环境质量, 水质综合评价, 污染分布特征

Evaluation of the Spatial Distribution Characteristics of Water Quality in Tianjin Coastal Fishing Port

Haojie Zhai, Hui Yuan, Shaoqiang Han, Tao Zheng, Xiaojuan Yi*

Tianjin Ecological Environment Monitoring Center, Tianjin

Received: Sep. 27th, 2024; accepted: Nov. 25th, 2024; published: Dec. 3rd, 2024

Abstract

This study constructed an EWT model based on an improved TOPSIS, and comprehensively analyzed the water environment quality, water quality spatial distribution, pollution characteristics, and

*通讯作者。

文章引用: 翟浩杰, 苑辉, 韩少强, 郑涛, 易晓娟. 天津近岸渔港水质空间分布特征评价[J]. 海洋科学前沿, 2024, 11(4): 177-184. DOI: 10.12677/ams.2024.114019

causes of Tianjin nearshore fishing ports using methods such as spatial difference and multivariate statistics. By constructing the EWT model, the water environment quality of Tianjin coastal fishing port is evaluated and ranked according to the quality. It can be seen from the study conclusion that the influence of oil sewage in the bottom of fishing boats on the water environment in the study area is greater than that of domestic sewage. Pollution factors such as pH, DO, COD and petroleum are greatly affected by the discharge of oil sewage from the cabin, while pollution factors such as inorganic nitrogen, non-ionic ammonia and active phosphate are greatly affected by the discharge of domestic sewage. This study's effectively collection and systematic management can effectively alleviate the pollution caused by the activities of fishing boats. The coastal fishing ports in the coastal areas should strengthen the collection and management measures of domestic sewage on the basis of improving the collection of oily wastewater, so as to improve the quality of coastal water environment.

Keywords

EWT Model, Water Environment Quality, Water Quality Comprehensive Evaluation, Pollution Distribution Characteristics

Copyright © 2024 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. 引言

海洋渔业捕捞过程产生的污染物会对近海水环境质量产生影响[1], 长期以来中国近岸的海洋渔业多处于粗放的发展模式。天津作为中国北方的一个沿海城市, 其所位于的渤海海域渔业船舶呈团聚状分布, 且渤海湾是典型半封闭型内海, 海水交换时间长、自净能力差, 生态环境极其脆弱[2][3], 近岸海域的捕捞区水环境质量在不断下降。渔船对近岸海域水环境污染造成污染的主要原因是生活污水和含油污水的排放, 其中, 生活污水主要来自厕所冲洗的粪便污水和少量的厨余废水, 含油废水主要来自舱底的含油污水。虽然天津所辖大部分渔港已经建立了相应的环保制度, 但是对生活污水收集的管理仍然存有很大的提升空间。因此, 客观分析渔船污水排放的特性及其对渔港及近岸水环境造成的影响十分重要。

为了科学客观地反映出人类活动对水环境质量造成影响, 大量的方法及评价模型应用在水环境污染分析的过程。TOPSIS是一种逼近于理想解的排序方法, 通过构造评价问题的正、负理想解距离对评价因子做出排序[4][5], 研究人员采用OWA算子理论[6]、信息熵(TIWR)、模糊多元决策[7]、改进的层析分析(ANP)[8]等方法对其进行改进后, 在环境评价的各领域得到很好的应用。有研究表明, 当TOPSIS模型耦合灰色关联模型后, 能够根据各因素之间的几何相似程度, 实现对评价指标的定性分析与定量分析有效结合, 使应用过程更具鲁棒性[9][10]。但单纯依靠评价模型本身很难找到水环境污染问题原因, 研究者通常用地理信息系统(GIS)以及其他的综合模型对污染成因及污染特性进行综合分析, 从而对水环境的治理提出更好建议。

本研究对天津市所辖的5个渔港及渔船主要作业区域水环境在捕鱼作业期进行了采样监测, 同时系统调研了各渔港所辖渔船的生活污水和含油废水排放、收集情况。基于调研监测数据, 构建了基于熵权和灰色关联耦合的TOPSIS模型(EWT), 通过采用两级评价体系的优化, 有效提高了模型稳定程度, 结合GIS反距离权重空间内插法进行空间分析, 科学客观地对研究区域水环境做出了评价。研究结果为天津地区海洋渔业的监管机构以及环境海洋污染领域的评价专业人员提供有价值的信息, 准确掌握污染来源和防控重点, 为渔船渔港生活污水精细化防治措施提供理论依据, 提高管控措施的有效性和针对性。

2. 材料和方法

2.1. 研究区域概况

天津市位于华北平原东北部，东临渤海湾，是环渤海地区的经济中心，海岸线全长153.67 km，邻近的渤海湾海域是重要的海洋经济水产物种的繁育区，海域面积约3000 km²，其中渔业用海共计18 km²，包括5个渔业港口，分别为大神堂渔港、中心渔港、蔡家堡渔港、北塘渔港和东沽渔港，各港口所辖渔船主要作业区域位于近岸13~18公里以内，具体位置为图1所示。

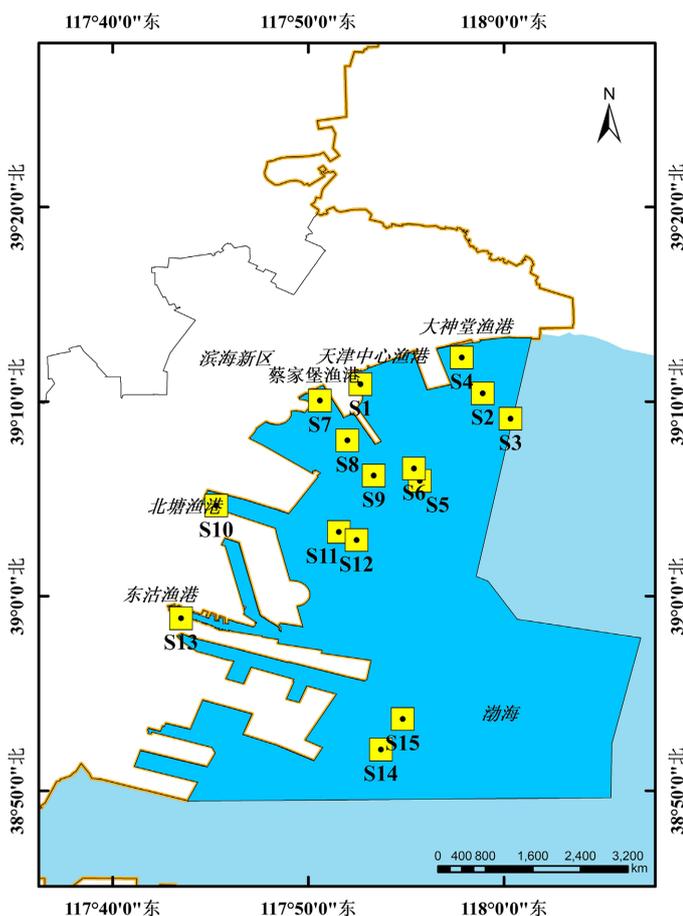


Figure 1. Main fishing operation areas and monitoring points in Tianjin
图 1. 天津主要捕鱼作业区域及监测点位

2.2. 样品采样及分析方法

采样点包括5个渔港港口内的点位和渔船主要作业区域的10个点位，点位分布情况如图1所示。采样工作于2021年10月渔船作业活动的主要时间段开展。根据《海水水质标准》(GB3079-1997)选取pH、溶解氧、悬浮物质、粪大肠杆菌、化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD₅)、无机氮、非离子氨、活性磷酸盐、石油类共计10项监测指标，根据《海洋监测规范第3部分：样品的采集、贮存与运输》(GB17378.3-2007)和《海洋监测规范第四部分海水分析》(GB17378.4-2007)进行样品的采集和测定。渔船污水主要包括舱底含油废水和生活污水两部分，其中生活污水主要来自厕所冲洗所产生的粪便污水和厨余废水，含油污水主要来自船舶的发动机和设备运行。

2.3. 研究方法

研究构建了基于熵权和灰色关联耦合的TOPSIS模型(EWT)对渔港近岸水环境质量进行综合评价, 并采用反距离权重空间内插法对EWT模型的结果进行了空间插值, 评价结果在空间范围内的分布特征。

EWT模型的具体评价步骤如下:

步骤一: 构造评价矩阵, 确定熵权。

根据《海水水质标准》(GB3079-1997)中10种污染物4级限值与15个点位的水质监测结果组成评价矩阵 $X = x_{ij}$, 该矩阵由标准矩阵 $X_s = x'_{is}$ 和指标矩阵 $X_o = x''_{io}$ 和两部分组成:

标准矩阵:

$$X_s = x'_{is}, (i = 1, \dots, x'_m, m = 10; s = 1, \dots, n, n = 4) \quad (1)$$

指标矩阵:

$$X_o = x''_{io}, (i = 1, \dots, x''_m, m = 10; o = 1, \dots, n, n = 15) \quad (2)$$

根据评价标准, 需要对评价指标进行正向化和标准化处理, 处理方法参见文献[11], 计算各评价指标的标准差判断离散程度 s_{ij} , 其中 $s_{ij} \leq 10\%$, 采用熵权法计算, $s_{ij} > 10\%$ 时, 采用层次分析法对权重进行修正:

采用熵权法时, 确定概率矩阵 p_{ij} :

$$p_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^n z_{ij}} \quad (3)$$

对于第 j 个指标, 其信息熵和信息效用值分别为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) (j = 1, \dots, m) \quad (4)$$

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

其中 e_j 为信息熵, d_j 信息效用值, p_{ij} 为概率矩阵。

将信息效用值进行归一化, 确定每个指标的熵权:

$$W_j = d_j / \sum_{j=1}^m d_j (j = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

其中 W_j 为每个指标熵权。

层次分析法对权重进行修正的公式为:

$$W_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^n z_{ij}} \quad (7)$$

步骤二: 耦合灰色关联模型计算综合度贴近值。

首先计算正、负理想解距离 D_i^+ 、 D_i^- :

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^+ - z_{ij})^2 W_j} \quad (8)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^- - z_{ij})^2 W_j} \quad (9)$$

将 D_i^+ 中其中每一行的最大值 z_{i0}^+ 作为的 Z^+ 母序列, 同样, 将 D_i^- 其中每一行的最小值 z_{i0}^- 作为的 Z^- 母序列, z_{i1} 分别作为子序列, 计算各个指标与母序列的灰色关联度 Y_i^+ 和 Y_i^- 。

通过公式(10)~(13)计算各个指标与母序列的灰色关联度 Y_i^+ 和 Y_i^- :

$$Z^+ = [z_{i0}^+, z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ij}] \quad (10)$$

$$Z^- = [z_{i0}^-, z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ij}] \quad (11)$$

$$Y_i^+ = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{a + \rho b}{|z_{i0}^+ - z_{ij}| + \rho b} \quad (12)$$

$$Y_i^- = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{c + \rho d}{|z_{i0}^- - z_{ij}| + \rho d} \quad (13)$$

其中, $a = \min |z_{i0}^+ - z_{ij}|$, $b = \max |z_{i0}^+ - z_{ij}|$, $c = \min |z_{i0}^- - z_{ij}|$, $d = \max |z_{i0}^- - z_{ij}|$, ρ 为分辨系数, $\rho = 0.5$ 。对正、负理想距离 D_i^+ 和 D_i^- 、灰色关联度 Y_i^+ 和 Y_i^- 进行无量纲化处理, 并根据(14)和(15)将熵权模型和灰色关联模型进行耦合。

$$E_i^+ = \alpha' D_i^+ + \beta' Y_i^+ \quad (14)$$

$$E_i^- = \alpha' D_i^- + \beta' Y_i^- \quad (15)$$

其中 $\alpha' = \beta' = 0.5$, E_i^+ 和 E_i^- 综合反映了各个评价指标与正、负理想解的贴近程度。

步骤三: 计算相对贴近度 C_i 并排序, 根据公式 $C_i = \frac{E_i^+}{E_i^+ + E_i^-}$ 计算相对贴近度 C_i , 数值越小水质越好。

为了找出渔港近岸水环境污染物的空间分布特征, 找出主要污染因子, 分析研究区域污染特征及相关性, 本研究采用反距离权重内插法对研究区域污染物浓度和EWT模型的评价结果空间分布特征进行了分析。

3. 结果与讨论

3.1. 渔港水环境质量基本情况

渔港内停靠渔船污水来源主要包括了舱底含油废水和生活污水两部分。其中, 渔船生活污水主要来自厕所冲洗所产生的粪便污水, 这部分生活污水排放具有较大的任意性, 这与樊菲等人[12]的研究一致, 根据《室外排水设计规范》(GB50014-2006)和《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018)及渔船船员数量、用水量等对生活排水量进行了估算; 含油污水的排放量为实际调研的结果。各渔港生活污水、含油污水的排放量和污水收集率如表1所示。从表1的结果可以看出, 北塘渔港渔船数量非常多, 其生活污水排放量为51,750 L/a, 其次为大神堂渔港, 生活污水排放量未40,089 L/a, 另外, 所在渔港生活污水收集率均较低。从渔港情况说明可以看出, 大神堂渔港、北塘渔港和、东沽渔港捕鱼作业密集; 中心渔港以旅游业为主, 蔡家堡渔港渔民、渔船活动大幅减少, 正处于拆迁中。

Table 1. Basic information of major fishing ports in Tianjin

表 1. 天津主要渔港基本情况

渔港名称及点位	大神堂渔港 (S1)	中心渔港(S4)	蔡家堡渔港 (S7)	北塘渔港 (S10)	东沽渔港 (S13)
停靠渔船数量(艘)	95	27	23	152	41
生活污水排放量(L/a)	40,089	14,175	5625	51,750	19,110
渔港生活污水收集率(%)	8	0	0	8	9

续表

含油污水排放量(L/a)	365	32	150	75	144
渔港含油污水收集率(%)	56	88	0	95	64
渔港情况说明	近岸捕鱼生产为主, 同时兼具海上旅游业	以旅游业为主	拆迁中, 渔民、渔船活动大幅减少	生产型渔港, 捕鱼作业密集	混合渔港, 捕鱼作业密集

3.2. 渔港水环境质量综合评价

根据步骤一构造评价矩阵, 经判断各项指标的离散程度均 $\leq 10\%$, 因此本模型采用熵权法, 并根据式(6)~(7)算出每个指标的熵权 W_j , 结果如表2所示, 从表2的结果可以看出, 生化需氧量的 W_j 最高, 为0.1790, 其次为 COD_{Mn} , 其 W_j 为0.1208; DO、粪大肠杆菌和油类 W_j 较低, 分别为0.0762、0.072和0.0760。

Table 2. Entropy weights of each evaluation index

表 2. 各评价指标的熵权值

指标	pH	DO	SS	粪大肠杆菌	COD_{Mn}	生化需氧量	无机氮	非离子氨	活性磷酸盐	石油类
W_j	0.0900	0.0762	0.0926	0.0729	0.1208	0.1790	0.0983	0.1057	0.0883	0.0760

根据步骤二中的(8)和(9), 将灰色关联模型进行耦合并计算综合度贴近值。首先计算正、负理想解距离 D_i^+ 、 D_i^- , 结果如表3所示, 其中S12的点位 D_i^+ 值最高, 为0.1442, 其 D_i^- 为0.2080。 D_i^- 最高的点位为中心渔港(S4), 为0.2597, 其次为S14和S15, 分别为0.2523和0.2516, 略低于中心渔港(S4); 然后, 根据公式(10)~(13)计算各个指标与母序列的灰色关联度 Y_i^+ 和 Y_i^- , 从表3的结果可以看出, Y_i^+ 的范围是0.2448~0.4067, 其中 Y_i^+ 最高的点位为S10, Y_i^- 的范围是0.2731~0.4846普遍高于 Y_i^+ , Y_i^- 最高的点位S2; 最后, 对正、负理想距离 D_i^+ 和 D_i^- 、灰色关联度 Y_i^+ 和 Y_i^- 进行无量纲化处理, 并根据(14)和(15)将熵权模型和灰色关联模型进行耦合, 计算各个评价指标与正、负理想解的贴近程度 E_i^+ 和 E_i^- , 根据表3的结果可以看出, E_i^+ 的范围在0.4315~0.9186之间, E_i^- 的范围在0.5260~0.9785之间。

Table 3. The calculation results of the EWT model

表 3. EWT 模型的计算结果

点位	D_i^+	D_i^-	Y_i^+	Y_i^-	E_i^+	E_i^-
S1	0.0900	0.0762	0.3405	0.2731	0.9186	0.5260
S2	0.0575	0.2486	0.2520	0.4846	0.4372	0.9785
S3	0.0593	0.2478	0.2545	0.4767	0.4442	0.9689
S4	0.0590	0.2597	0.2448	0.4488	0.4315	0.9630
S5	0.0692	0.2492	0.2640	0.4526	0.4778	0.9466
S6	0.0698	0.2460	0.2655	0.4627	0.4808	0.9510
S7	0.0779	0.2406	0.2698	0.4168	0.5041	0.8931
S8	0.1735	0.2088	0.3266	0.2959	0.7857	0.7072

续表

S9	0.0870	0.2268	0.2952	0.3754	0.5556	0.8239
S10	0.1692	0.1706	0.4067	0.3533	0.8745	0.6930
S11	0.1175	0.2135	0.3537	0.3748	0.6949	0.7977
S12	0.1442	0.2080	0.3652	0.3588	0.7682	0.7705
S13	0.0793	0.2325	0.2854	0.3921	0.5264	0.8522
S14	0.0629	0.2523	0.2544	0.4629	0.4520	0.9632
S15	0.0606	0.2516	0.2526	0.4715	0.4446	0.9709

根据步骤三的公式 $C_i = \frac{E_i^+}{E_i^+ + E_i^-}$ 计算《海水水质标准》(GB3079-1997)中10种污染物4级限值的相对贴

近度 C_i ，其 C_i 越小表示其水质越好，其中当 $C_i < 0.3561$ 时，为第一类；当 $0.3561 \leq C_i < 0.4051$ ，为第二类；当 $0.4051 \leq C_i < 0.5054$ ，为第三类；当 $0.5054 \leq C_i < 0.5786$ ，为第四类；若 $C_i \geq 0.5786$ ，则为劣四类水质。最后根据EWT模型对研究区域的15个监测点位10个水质评价指标结合模型的结果，对研究区域水质进行综合评价，同时通过反距离权重空间内插法对污染物的空间分布特征进行了分析，结果如表4所示，

Table 4. Evaluation results and pollutant spatial distribution characteristics of the EWT model
表 4. EWT 模型的评价结果和污染物空间分布特征

点位	基于熵权的 TOPSIS		
	C_i	水质类别	排名
S1	0.6359	劣四类	15
S2	0.3088	第一类	1
S3	0.3143	第一类	4
S4	0.3094	第一类	2
S5	0.3355	第一类	6
S6	0.3358	第一类	7
S7	0.3608	第二类	8
S8	0.5263	第四类	13
S9	0.4028	第二类	10
S10	0.5579	第四类	14
S11	0.4655	第三类	11
S12	0.4992	第三类	12
S13	0.3818	第二类	9
S14	0.3194	第一类	5
S15	0.3141	第一类	3

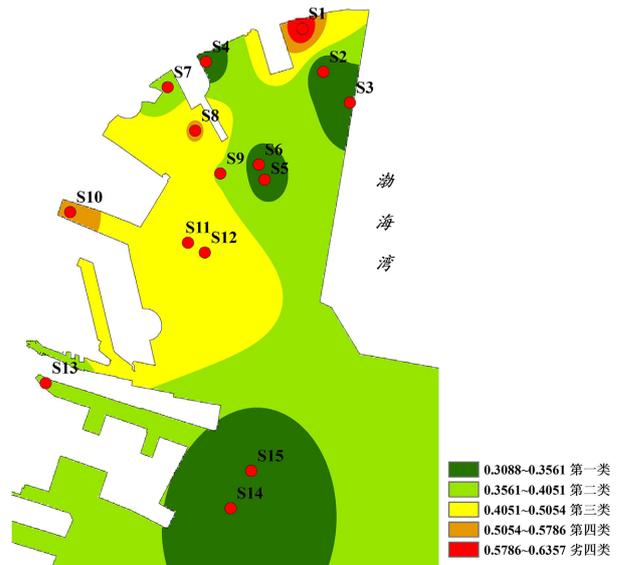


表4分别为研究区域内各污染物浓度和EWT模型的评价结果空间分布情况。从EWT模型的评价结果和污染物空间分布特征可以看出：由于渔港内渔船密度较大，渔港近岸的水质明显劣于捕鱼作业区，5个渔港的水环境从优至劣依次为：中心渔港(S4)，蔡家堡渔港(S7)，东沽渔港(S13)，北塘渔港(S10)，大神堂渔港(S1)，S1点位和S10点位水质较差，这两个点位渔船停靠数量要明显高于其他三个渔港；在捕鱼作业区内，渔船主要的活动区的水环境质量较差，北塘渔港(S10)所临近的近岸作业区S11、S12、S8水质相对较差，其中S11、S12点位无机氮、活性磷酸盐、非离子氨浓度较高，S8点位COD_{Mn}、生化需氧量和石油类浓度较高，根据调研结果，北塘渔港为生产型渔港，捕鱼作业活动相对渔港密集，S4所在的中心渔港，以海上风情旅游为主，不仅渔船数量且出海作业频率较低，港内及主要作业区水质相对较好。

4. 结论及建议

本研究采用了 EWT 对于渔港及捕鱼作业区水环境质量现状进行了综合评价，分析了渔船污水排放对研究区域水环境造成的影响，确定主要污染来源、污染特征和主要影响因子。研究者通过两级评价体系将熵权和灰色关联模型耦合，对传统的 TOPSIS 模型进行了改进，构建了 EWT 综合评价模型，有效地提高了模型的适应性和稳定性，对渔港近岸水环境质量作出评价，并结合反距离权重空间内插法对 EWT 评价结果及污染因子进行了空间尺度的分析，直观地了解了研究区域的水环境现状情况。

根据研究结果，我们提出相关建议如下：研究区域的主要污染源是渔船排放的含油污水，对渔船的有效管理是改善水质的关键。(1) 渔港可以制定含油污水接收优惠政策，提高接收能力。(2) 通过无线监测设备加强对出海后渔船污染行为的控制，可实现对含油污水排放和收集行为的有效监督。(3) 开发非常适合小型渔船使用的污水处理或储存设备。(4) 加强渔民环境保护知识的普及，让他们了解任意排放污水的危害和环境保护的重要性。

参考文献

- [1] Jackson, J.B.C., Kirby, M.X., Berger, W.H., Bjorndal, K.A., Botsford, L.W., Bourque, B.J., *et al.* (2001) Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. *Science*, **293**, 629-637.
<https://doi.org/10.1126/science.1059199>
- [2] Liu, B.X., *et al.* (2021) Polybrominated Diphenyl Ethers in Surface Sediments from Fishing Ports along the Coast of Bohai Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, **164**, Article ID: 112037.
- [3] Zhou, D., Yu, M., Yu, J., Li, Y., Guan, B., Wang, X., *et al.* (2021) Impacts of Inland Pollution Input on Coastal Water Quality of the Bohai Sea. *Science of the Total Environment*, **765**, Article ID: 142691.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142691>
- [4] 乔海娟, 黄洲, 张丛林, 等. 中国省域农村水电发展水平评价及空间格局演变研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(8): 204-210, 220.
- [5] 郭维维, 龙岩. 突发水污染事件应急预案综合评价方法研究[J]. 中国农村水利水电, 2019, 446(12): 115-119.
- [6] 郑恺原, 潘若云, 黄峰. 算子优化层次分析的 TOPSIS 模型评价大沽河流域地下水水质研究[J]. 节水灌溉, 2020, 297(5): 93-97.
- [7] Afshar, A., Mariño, M.A., Saadatpour, M. and Afshar, A. (2010) Fuzzy TOPSIS Multi-Criteria Decision Analysis Applied to Karun Reservoirs System. *Water Resources Management*, **25**, 545-563.
<https://doi.org/10.1007/s11269-010-9713-x>
- [8] Büyüközkan, G. and Gülyerüz, S. (2016) An Integrated DEMATEL-ANP Approach for Renewable Energy Resources Selection in Turkey. *International Journal of Production Economics*, **182**, 435-448.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.015>
- [9] 潘妮, 梁川. 基于熵权的灰色关联模型在流域水质综合评价中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2008(4): 1-3, 7.
- [10] 迟道才, 沈亚西, 陈涛涛, 等. 灰色关联度组合模型在涝灾预测中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2012(1): 80-82.
- [11] 苑辉, 韩少强, 马楠, 等. 基于改进的灰色关联法在天津近岸捕鱼作业区水质综合评价中的应用[J]. 2022, 9(1): 1-9.
- [12] 樊菲, 张祝利. 我国渔业船舶生活污水污染现状及防治对策[J]. 中国船检, 2020(7): 70-73.