

DOI:10.20040/j.cnki.1000-7709.2026.20250363

基于文本信息挖掘的中国旱灾风险评估

朱静蕾^{1,2,3}, 涂新军^{1,2,3}, 王欣贝^{1,2,3}, 林凯荣^{1,2,3}, 刘梅先^{1,2,3}, 刘智勇^{1,2,3}

(1. 中山大学水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275; 2. 广东省华南地区水安全调控工程技术研究中心, 广东 广州 510275; 3. 南方海洋科学与工程广东省实验室, 广东 珠海 519080)

摘要: 旱灾是致灾因子与社会经济及环境共同作用的结果。采用中国历史旱灾文本信息进行旱灾分级,通过热点分析识别旱灾频发区,基于危险性、暴露性和脆弱性三要素开展旱灾风险评估。结果表明,从水雨情、旱情和社会影响三个方面提取的旱灾关键信息,能够较好地应用于旱灾分级。1949~2020年,中国年均旱灾约170次,其中轻度、中度和重度旱灾占比分别为52.4%、27.6%、20.0%,旱灾频发区主要出现在河南、山西、陕西和内蒙古等地。危险性、暴露性和脆弱性均为较高及以上的有河南、湖北和山东。作为中国粮食主产区的河南、湖北、四川、山东等地为较高及以上旱灾风险区。研究结果可为抗旱减灾工作提供参考。

关键词: 旱灾; 风险评估; 文本挖掘; 热点分析; DPSEEA

中图分类号: P429

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2026)01-0024-05

Risk Assessment of Drought Disaster in China Based on Text Information Mining

ZHU Jing-lei^{1,2,3}, TU Xin-jun^{1,2,3}, WANG Xin-bei^{1,2,3}, LIN Kai-rong^{1,2,3},
LIU Mei-xian^{1,2,3}, LIU Zhi-yong^{1,2,3}

(1. Center of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Center of Water Security Engineering and Technology in Southern China of Guangdong, Guangzhou 510275, China;
3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory, Zhuhai 519080, China)

Abstract: Drought disaster is the combined effects of disaster-causing, socioeconomic and environmental factors. The textual information of historical drought disasters in China was used to classify drought disaster. The method of hotspot analysis was employed to identify prone areas of drought disaster. Based on three elements of hazard, exposure, and vulnerability, the risk assessment of drought disaster was investigated. The results show that three types of key information including water and rainfall conditions, drought severity and social impact extracted from drought disaster texts were well applied to their classification. During the period of 1949-2020 in China, it experienced an average of about 170 drought disasters per year, with mild, moderate, and severe droughts accounting for 52.4%, 27.6%, and 20.0%, respectively. The prone areas of drought disaster mainly occurred in Henan, Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia etc. The levels of the hazard, exposure and vulnerability in Henan, Hubei and Shandong accounted for the higher or above. The levels of drought disaster risk in Henan, Hubei, Sichuan, and Shandong, as the major grain producing areas, were the higher or above. The results of the study can provide a reference for drought disaster mitigation.

Key words: drought disaster; risk assessment; text mining; hotspot analysis; DPSEEA

1 引言

旱灾是干旱致灾因子与社会经济、生态环境系统相互作用后造成不利影响和损失的自然社会

复合现象,是人类面临的重要环境灾害之一^[1]。据统计,中国每年旱灾损失占各种自然灾害总和的15%以上^[2],亟须加强干旱灾害评估研究。旱灾风险评估是对干旱致灾因子作用于承灾体所产生的损失状态进行定性或定量评判^[3]。目前,旱

收稿日期: 2025-02-28,修回日期: 2025-03-28,接受日期: 2025-04-08

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(52279032);国家重点研发计划(2022YFC3002900)

作者简介: 朱静蕾(2000-),女,硕士研究生,研究方向为水文水资源,E-mail: zhujlei@mail2.sysu.edu.cn

通讯作者: 涂新军(1972-),男,教授、博导,研究方向为水文水资源,E-mail: eestxj@mail.sysu.edu.cn

灾风险评估方法主要有三大类:旱灾指标体综合评价法、风险概率模型法及机器学习模型评估法。然而,现有研究主要基于气象、水文、社会经济数据开展风险评估,结合历史干旱致灾情况的研究相对较少,而考虑干旱对人类生产、生活造成的灾害和损失对旱灾风险评估具有重要意义。为此,本文从历史灾情文本记录得到 1949~2020 年中国旱灾情况,分析其时空分布规律,并将量化的历史灾情应用到旱灾风险评估中,结合致灾因子危险性、承灾体脆弱性和暴露性灾害理论,分析不同因素的区域分布特点,绘制中国灾害风险分布和区划,以期为中国旱灾风险管理工作提供参考。

2 数据与方法

2.1 旱灾风险评估方法及数据来源

旱灾风险评估一般包括致灾因子危险性、承灾体的暴露性和脆弱性三个因素。致灾因子危险性是指干旱发生的可能性,体现了不同强度干旱发生频率^[4],拟选择全球陆地数据同化系统(GLDAS)中国 1949~2020 年分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 的月降水数据,基于标准化降水指数(SPI,以下均用 I_{SPI} 表示)开展干旱分级,用于评估致灾因子危险性。承灾体是旱灾的作用主体和风险对象,其暴露性是指接触外部环境的暴露程度,主要取决于人口、社会经济、水利设施建设等因素,拟选择 2020 年《中国统计年鉴》、《中国水资源公报》和《中国水利统计年鉴》的省级社会经济及水资源面板数据,通过构建驱动力—压力—状态—接触—影响—行动(DPSEEA)框架,评估承灾体暴露性^[5]。承灾体的脆弱性是指旱灾发生的可能性,有研究认为历史上干旱灾害较为严重地区未来更有可能遭受更高旱灾损失^[6]。由于旱灾及损失资料较为缺乏,拟根据《中国气象灾害大典》(各省分卷,2007 年出版)、《中国水旱灾害公报(2001-2020)》以及《中国气象灾害年鉴(2003-2020)》中的历史旱灾情况文本记录,基于文本信息挖掘对 1949-2020 年中国各地级市开展旱灾分级,用于评估承灾体脆弱性。

2.2 旱灾文本信息挖掘与分级

基于灾害大典和水旱灾害公报中记录的旱灾文本信息,根据发生时间、地点、灾情描述等信息提取旱灾事件,拟从水雨情、旱情和社会影响三个方面提取关键信息,参考《气象干旱等级》(GB/T 20481-2017)^[7],将旱灾事件分为轻度旱灾、中度旱灾、重度旱灾三个等级。典型灾情文本记录、旱

灾描述的关键信息挖掘和旱灾分级,见图 1。

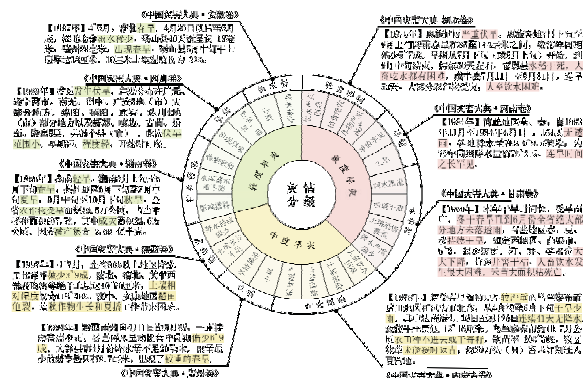


图 1 基于文本信息挖掘的旱灾分级

Fig. 1 Drought disaster classification based on text mining knowledge

2.3 旱灾风险评估指标体系

2.3.1 致灾因子危险性

降水是导致干旱最直接原因,也是干旱灾害最大致灾因子。基于中国地级行政单元的 SPI 及气象干旱等级划分^[4],通过游程理论提取干旱事件,并按不同干旱等级分省加总,有:

$$P_1(i, j) = H(i, j) / \sum_{i=1}^M H(i, j) \quad (1)$$

式中, $P_1(i, j)$ 、 $H(i, j)$ 分别为某省单元 i 发生干旱事件等级为 j 的频率和次数; M 为中国省级单元总数(不包括港澳台),取为 31。

致灾因子危险性指数(DHI)为:

$$I_1(i) = \sum_{j=1}^4 W(j) P_1(i, j) \quad (2)$$

式中, $I_1(i)$ 为省级单元 i 的危险性指数; $W(j)$ 为权重,且 $W(1)=0.1$ 、 $W(2)=0.2$ 、 $W(3)=0.3$ 、 $W(4)=0.4$ 分别对应轻旱($-1 < SPI \leq -0.5$)、中旱($-1.5 < SPI \leq -1.0$)、重旱($-2.0 < SPI \leq -1.5$)和特旱($SPI \leq -2.0$)^[4],且满足 $\sum_{j=1}^4 W(j) = 1$ 。

2.3.2 承灾体暴露性

综合考虑中国省级单元承灾体特点,在 DPSEEA 框架的暴露性指标体系中,驱动力(Driving)是旱灾的驱动因素,主要考虑社会经济变化因素如人口增长率、城镇化率;压力(Pressure)是旱灾发生时水资源条件,选用人均水资源量、用水与水资源比;状态(State)反映了旱灾发生时的用水指标,选用了人均综合用水量、GDP 用水量、灌溉用水量;接触(Exposure)是指旱灾发生时社会经济状况,如人口密度、人均 GDP、农田灌溉面积;影响(Effect)是指旱灾对社会经济造成的损失,如作物年受灾面积、年受灾人口、年直接经济损失;行动(Action)是指旱灾防御

能力,选用了库容与用水比、供水管道密度。如表 1。

表 1 基于 DPSEE 框架的承灾体暴露性指标情况

Tab. 1 Exposure indicators of drought disaster-bearing body

准则层	指标层	数值分布	正负性	权重
驱动 力 D	人口增长率/%		正向	0.056
	城镇化率/%		正向	0.006
压力 P	人均水资源量 /(m³·人⁻¹)		负向	0.218
	用水与水资源比		正向	0.100
状态 S	人均综合用水量 /(m³·人⁻¹)		正向	0.035
	GDP 用水量 /(m³·万元⁻¹)		正向	0.040
	灌溉用水量 /(m³·亩⁻¹)		正向	0.026
	人口密度 /(人·km⁻²)		正向	0.038
接触 E _x	人均 GDP /(万元·人⁻¹)		正向	0.015
	农田灌溉面积 /10⁴ ha		正向	0.044
	作物年受灾 面积/10⁴ ha		正向	0.108
	年受灾人口/万人		正向	0.102
影响 E _i	年直接经济 损失/亿元		正向	0.129
	库容与用水比		负向	0.063
	供水管道密度 /(km·km⁻²)		负向	0.019

注:数值分布云雨图标注的数值从左到右分别为最小值、均值和最大值。

拟采用层次分析法和熵权法综合主客观因素确定指标的权重^[8]。层次分析法是一种主观判断赋权方法,引入相对重要性标度构造判断矩阵,从而得出暴露性指标相应权重。熵权法是一种客观赋权方法,通过计算暴露性指标之间的信息熵和信息增益确定权重。有:

$$W(k) = \sqrt{W_A(k)W_E(k)} / \sum_{k=1}^N \sqrt{W_A(k)W_E(k)} \quad (3)$$

式中, $W(k)$ 为暴露性指标 k 的综合权重; $W_A(k)$ 、 $W_E(k)$ 分别为基于层次分析法和熵权法得出的权重; N 为指标总数,取为 15。

综合权重结果见表 1,则承灾体暴露性指数(DEI)为:

$$I_2(i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N W(k) P_2(i, k) \quad (4)$$

式中, $I_2(i)$ 为省级单元 i 的暴露性指数; $P_2(i, k)$ 为省级单元 i 暴露性指标 k 的归一化值。

2.3.3 承灾体脆弱性

基于旱灾文本信息挖掘可得到不同等级的旱灾事件,有:

$$P_3(i, l) = V(i, l) / \sum_{i=1}^N V(i, l) \quad (5)$$

式中, $P_3(i, l)$ 、 $V(i, l)$ 分别为省级单元 i 发生旱灾事件等级为 l 的频率和次数。

承灾体脆弱性指数(DVI)为:

$$I_3(i) = \sum_{l=1}^3 W(l) P_3(i, l) \quad (6)$$

式中, $I_3(i)$ 为省级单元 i 的脆弱性指数; $W(l)$ 为权重,且 $W(1) = 1/6$ 、 $W(2) = 1/3$ 、 $W(3) = 1/2$ 分别对应基于文本信息挖掘的轻度旱灾、中度旱灾和重度旱灾,且满足 $\sum_{l=1}^3 W(l) = 1$ 。

2.3.4 旱灾风险指数及分级

基于致灾因子的危险性指数、承灾体的暴露性指数和脆弱性指数,则旱灾风险指数(DRI)为:

$$R(i) = I_1(i) + I_2(i) + I_3(i) \quad (7)$$

式中, $R(i)$ 为省级单元 i 的旱灾风险指数。

旱灾评估体系中的危险性、暴露性、脆弱性及风险分级,均采用自然断点法划分为低、较低、中、较高和高共 5 个等级。

3 结果与分析

3.1 中国旱灾空间分布

基于中国地级行政单元的旱灾事件分布见图 2。1949~2020 年,中国年均旱灾约为 170 次,其中轻度、中度和重度旱灾分别约为 89、47、34 次,占比分别为 52.4%、27.6%、20.0%。地级行政单元发生轻度、中度和重度旱灾的中位值分别为

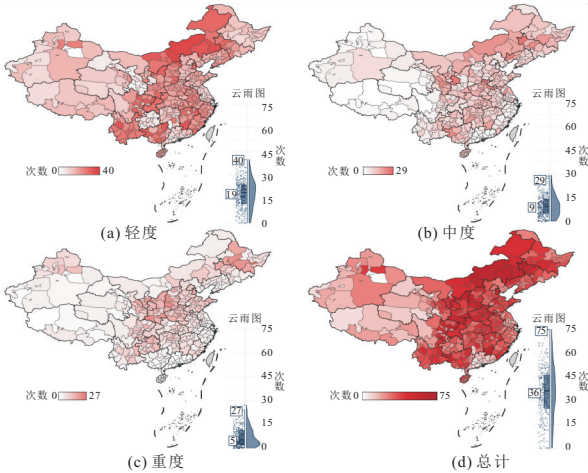


图 2 1949~2020 年中国旱灾空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of drought disaster in the period of 1949-2020 in China

19、9、5 次,最大值分别出现在内蒙古锡林郭勒盟和兴安盟(40 次)、吉林白城市(29 次)和黑龙江七台河市(27 次)。

采用热点分析(Getis-Ord G_i^*)方法,通过计算局部空间自相关指数(G_i^* Z-score),量化旱灾频次的空间聚类特征,并结合显著性检验 P 值分别划分冷点区域和热点区域^[9]。旱灾冷热点分布见图 3,结果显示置信度 $P<0.05$ 热点区(旱灾频发)涉及到河南(18 个)、山西(9 个)、陕西(9 个)、内蒙古(8 个)、湖北(4 个)、吉林(3 个)、黑龙江(3 个)、甘肃(3 个)、四川(2 个)、山东(1 个)、河北(1 个)、安徽(1 个)、宁夏(1 个)的 63 个地级行政区。从不同等级灾情来看,轻度旱灾频发区涉及到四川(9 个)、云南(8 个)、内蒙古(8 个)、山西(6 个)、安徽(6 个)、广西(5 个)、陕西(3 个)、吉林(2 个)、福建(2 个)、江西(1 个)、湖北(1 个)、浙江(1 个)共 52 个地级行政区;中度旱灾频发区涉及到河南(16 个)、湖南(10 个)、甘肃(8 个)、湖北(6 个)、黑龙江(5 个)、内蒙古(5 个)、吉林(4 个)、宁夏(3 个)、山西(3 个)、广西(2 个)、辽宁(2 个)、河北(1 个)的 65 个地级行政区;重度旱灾频发区涉及到河南(17 个)、黑龙江(12 个)、山西(11 个)、陕西(10 个)、甘肃(7 个)、河北(6 个)、山东(6 个)、四川(4 个)、宁夏(3 个)、吉林(3 个)、内蒙古(2 个)、贵州(2 个)共 83 个地级行政区。

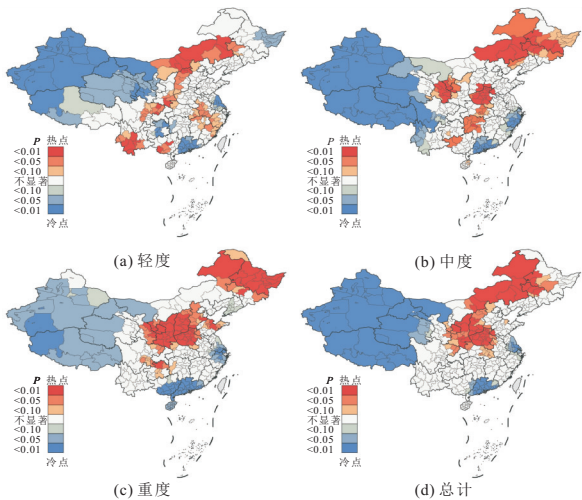


图 3 1949~2020 年中国旱灾热点分析
Fig. 3 Hot spot analysis of drought disaster in the period of 1949-2020 in China

分省级行政单元汇总的旱灾统计见表 2。旱灾次数排名靠前依次为河南、四川、云南、内蒙、湖北、山东等地,年均分别为 13.44、10.76、8.80、8.76、8.69、8.38 次,占比分别为 7.93%、6.35%、5.19%、5.17%、5.13%、4.94%。轻度旱灾次数排名靠前依次为四川、云南、河南、内蒙、湖北、安

表 2 1949~2020 年中国各省旱灾统计
Tab. 2 Provincial statistics of drought disaster in the period of 1949-2020 in China

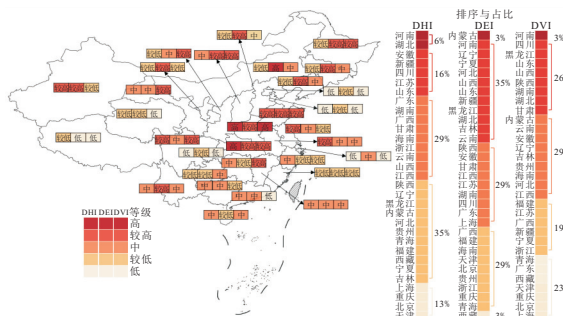
地区	轻度旱灾		中度旱灾		重度旱灾		全部旱灾	
	年均 数/次	占比 /%	年均 数/次	占比 /%	年均 数/次	占比 /%	年均 数/次	占比 /%
北京	0.18	0.21	0.07	0.15	0.17	0.50	0.42	0.25
天津	0.42	0.48	0.08	0.18	0.25	0.75	0.76	0.45
河北	2.46	2.77	1.39	2.99	1.17	3.44	5.03	2.97
山西	4.11	4.62	1.38	2.96	2.41	7.09	7.90	4.66
内蒙古	5.11	5.75	2.70	5.80	0.94	2.78	8.76	5.17
辽宁	3.97	4.47	2.35	5.05	0.77	2.28	7.10	4.19
吉林	2.97	3.34	1.94	4.17	1.04	3.07	5.96	3.51
黑龙江	2.23	2.50	2.31	4.95	2.46	7.25	7.00	4.13
上海	0.10	0.11	0.04	0.09	0.06	0.17	0.20	0.12
江苏	1.77	2.00	1.87	4.02	0.61	1.78	4.25	2.51
浙江	3.58	4.02	0.51	1.09	0.39	1.16	4.48	2.64
安徽	4.70	5.29	1.61	3.44	1.06	3.11	7.37	4.34
福建	3.04	3.42	0.93	1.99	0.97	2.86	4.94	2.92
江西	3.72	4.18	1.54	3.29	0.87	2.57	6.13	3.61
山东	3.96	4.45	2.48	5.32	1.94	5.72	8.38	4.94
河南	5.37	6.03	4.69	10.06	3.38	9.95	13.44	7.93
湖北	4.76	5.35	2.56	5.50	1.37	4.02	8.69	5.13
湖南	2.59	2.91	2.77	5.95	1.65	4.85	7.01	4.14
广东	2.39	2.69	0.76	1.63	0.06	0.17	3.21	1.89
广西	3.76	4.23	1.70	3.66	0.28	0.83	5.75	3.39
海南	3.21	3.61	2.34	5.02	0.62	1.82	6.17	3.64
重庆	0.42	0.48	0.11	0.24	0.14	0.41	0.68	0.40
四川	6.65	7.48	1.68	3.60	2.44	7.17	10.76	6.35
贵州	0.77	0.87	1.41	3.02	1.42	4.19	3.61	2.13
云南	5.96	6.70	1.48	3.17	1.37	4.02	8.80	5.19
西藏	1.31	1.47	0.10	0.21	0.24	0.70	1.65	0.97
陕西	3.62	4.07	1.30	2.78	2.25	6.63	7.17	4.23
甘肃	0.86	0.97	2.89	6.19	1.63	4.81	5.38	3.17
青海	1.58	1.77	0.31	0.66	0.38	1.12	2.27	1.34
宁夏	1.17	1.31	0.75	1.60	0.70	2.07	2.62	1.55
新疆	2.17	2.44	0.56	1.21	0.93	2.74	3.66	2.16
全国	88.93	100.00	46.62	100.00	33.99	100.00	170.00	100.00

徽、山西等地,年均分别为 6.65、5.96、5.37、5.11、4.76、4.70、4.11 次。中度旱灾次数排名靠前依次为河南、甘肃、湖南、内蒙、湖北、山东等地,年均分别为 4.69、2.89、2.77、2.70、2.56、2.48 次。重度旱灾次数排名靠前依次为河南、黑龙江、四川、山西、陕西、山东等地,年均分别为 3.38、2.46、2.44、2.41、2.25、1.94 次。

3.2 中国旱灾风险因素分析及区划

中国旱灾风险因素等级水平见图 4。从危险性来看,等级为较高及以上的地区从高到低排序依次为河南、湖北、安徽、新疆、四川、江苏和山东,其中河南、湖北和安徽重旱频次占比位列前三,而新疆是干旱频次最高的地区。从暴露性来看,等级为较高及以上的地区从高到低排序依次为内蒙古、河南、辽宁、宁夏、河北、山西、山东、新疆、黑龙江、湖北、吉林和云南,其中内蒙古是作物受灾面

积和直接经济损失最高的地区,河南省是受灾人口最高地区且农田灌溉面积大,辽宁的受灾人口和直接经济损失(均排名第2)高,宁夏的用水与水资源比(排名第1)和人均综合用水量高(排名第2),也就是说压力指标和影响指标较高的地区暴露性等级较高。从脆弱性来看,等级为较高及以上的地区从高到低排序依次为河南、四川、黑龙江、山东、山西、陕西、湖南、湖北和甘肃,其中河南中度旱灾、重度旱灾及旱灾总次数均为最高,四川轻度旱灾为最高且旱灾总次数仅次于河南,重度旱灾也位列第三。总体来看,河南、湖北和山东的危险性、暴露性及脆弱性均处于较高及以上等级。



参考文献:

- [1] JING P F, YANG Z H, YIN W, et al. Release estimation of pollutants in river by the variational analysis approach[J]. *Journal of contaminant hydrology*, 2022, 248: 103999.
- [2] 中华人民共和国水利部. 河湖健康评估技术导则: SL/T 793-2020[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Technical guidelines for river and lake health assessment: SL/T 793-2020 [S]. Beijing: China Water & Power Press, 2020. (in Chinese))
- [3] RAVEN P J, HOLMES N T H, NAURA M, et al. Using river habitat survey for environmental assessment and catchment planning in the U. K[C]//Assessing the Ecological Integrity of Running Waters. Dordrecht: Springer, 2000: 359-367.
- [4] WANG X Y, CHENG Y N. Urban lake health assessment based on the synergistic perspective of water environment and social service functions [J]. *Global challenges*, 2024, 8(10): 2400144.
- [5] HARTIG J H, FRANCOEUR S N, CIBOROWSKI J J H, et al. An ecosystem health assessment of the Detroit River and western Lake Erie[J]. *Journal of great lakes research*, 2021, 47(4): 1241-1256.
- [6] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 国家地表水环境质量标准: GB3838-2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002. (State Environmental Protection Administration, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China. Environmental Quality Standard for Surface Water: GB3838-2002 [S]. Beijing: China Standard Press, 2002. (in Chinese))
- [7] 吴卫菊, 周大量, 胡红娟, 等. 湖北省 4 个重点湖泊近年来水质变化及水生态环境质量评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2025, 34(4): 862-870. (WU W J, ZHOU D L, HU H J, et al. Assessment of water quality variation and current status of aquatic ecological environment quality of four key lakes in Hubei Province[J]. *Resources and environment in the Yangtze Basin*, 2025, 34(4): 862-870. (in Chinese))
- [8] LI Y R, YU Z D, JI S P, et al. Diverse drivers of phytoplankton dynamics in different phyla across the annual cycle in a freshwater lake[J]. *Journal of freshwater ecology*, 2021, 36(1): 13-29.
- [9] 王佩, 卢少勇, 王殿武, 等. 太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价[J]. *中国环境科学*, 2012, 32(4): 703-709. (WANG P, LU S Y, WANG D W, et al. Nitrogen, phosphorous and organic matter spatial distribution characteristics and their pollution status evaluation of sediments nutrients in lakeside zones of Taihu Lake[J]. *China environmental science*, 2012, 32(4): 703-709. (in Chinese))
- [10] 邱阳, 任晓鸣, 王菲, 等. 骆马湖流域表层沉积物重金属分布特征及风险评价[J]. *环境科技*, 2024, 37(4): 58-64. (QIU Y, REN X M, WANG F, et al. Distribution characteristics and risk evaluation of heavy metal in surface sediments of Luomahu Lake Basin[J]. *Environmental science and technology*, 2024, 37(4): 58-64. (in Chinese))
- [11] 李哲, 陈永柏, 李翀, 等. 河流梯级开发生态环境效应与适应性管理进展[J]. *地球科学进展*, 2018, 33(7): 675-686. (LI Z, CHEN Y B, LI C, et al. Advances of eco-environmental effects and adaptive management in river cascading development [J]. *Advances in earth science*, 2018, 33(7): 675-686. (in Chinese))
- [12] 高学平, 胡泽, 闫晨丹, 等. 考虑水力连通性的水系连通评价指标体系构建与应用[J]. *水资源保护*, 2022, 38(2): 41-47. (GAO X P, HU Z, YAN C D, et al. Construction and application of water system connectivity evaluation index system considering hydraulic connectivity[J]. *Water resources protection*, 2022, 38(2): 41-47. (in Chinese))
- [13] 朱俊, 张勇, 毕明亮, 等. 大型水电工程与区域生态因子变化的关联性研究——以向家坝、溪洛渡电站为例[J]. *环境保护科学*, 2024, 50(2): 85-93. (ZHU J, ZHANG Y, BI M L, et al. The relationship between large hydropower projects and regional ecological factors—Taking Xiangjiaba and Xiluodu power stations as examples[J]. *Environmental protection science*, 2024, 50(2): 85-93. (in Chinese))
- *****
- (上接第 28 页)
- [8] 李佩茹, 张保祥, 姜欣. 基于可变模糊集理论的山东省旱灾风险动态评价与区划[J]. *水电能源科学*, 2022, 40(3): 22-25, 144. (LI P R, ZHANG B X, JIANG X. Drought risk dynamic assessment and zoning in Shandong Province based on variable fuzzy sets theory[J]. *Water resources and power*, 2022, 40(3): 22-25, 144. (in Chinese))
- [9] 闫正龙, 高凡, 何兵, 等. 1990—2020 年渭河流域生境质量的时空变化及影响因素分析[J]. *环境科学*, 2025, 46(9): 5850-5860. (YAN Z L, GAO F, HE B, et al. Spatiotemporal changes and influencing factors of habitat quality in the Weihe River Basin from 1990 to 2020 [J]. *Environmental science*, 2025, 46(9): 5850-5860. (in Chinese))