

阎王鼻子水库生态安全评估

何军, 刘岚昕, 王留锁, 董殿波 (辽宁省生态环境保护科技中心, 辽宁沈阳 110161)

摘要 以辽宁朝阳阎王鼻子水库为研究对象, 搜集 2017—2019 年水库及其所在区域的社会、经济、环境统计数据, 结合国内外生态安全评估研究理论, 运用“驱动力-压力-状态-影响-响应”(DPSIR)模型构建阎王鼻子水库生态安全评估指标体系(4个维度、12大项和25小项), 评估阎王鼻子水库的生态安全指数。结果表明, 2017—2019年该水库生态安全指数(ESI)逐年提升, 生态服务功能达到优秀水平, 水库的生态安全处于良好状态。未来需要进一步增强水库的“山-水-林-田-湖-草”一体化功能, 配套水库周边的生态环境基础设施, 有效防止生态环境退化; 制订水库环境保护与管理模式, 全面保障水库生态安全, 推动辽宁朝阳阎王鼻子水库健康、稳定、持续发展。

关键词 阎王鼻子水库; DPSIR模型; 生态安全

中图分类号 X824 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)11-0166-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.11.040



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Assessment of Ecological Security for Yanwangbizi Reservoir

HE Jun, LIU Lan-xin, WANG Liu-suo et al (Liaoning Eco-environmental Protection Science and Technology Center, Shenyang, Liaoning 110161)

Abstract Yanwangbizi Reservoir was selected as the research object, which was located in Chaoyang, Liaoning Province. The statistical data of this reservoir including the society, economy and environment from 2017 to 2019 were collected. Referring to the theories of ecological security assessment at home and abroad, we applied the “driving force-pressure-state-impact-risk” model (DPSIR) and created index system (4 dimensions, 12 major items and 25 minor items) for assessment on the ecological safety index (ESI) of Yanwangbizi Reservoir. The results showed that ESI of this reservoir increased during 2017–2019. The ecological service function of this reservoir reached the high level. The ecological security of this reservoir was in a good state. In the future, the integrated functions of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands of this reservoir should be further improved. The ecological environment infrastructure around this reservoir were constructed, in order to effectively prevent the degradation of the ecological environment. We should formulate the environmental protection and management mode of this reservoir, guarantee the ecological safety of this reservoir, promote the healthy, stable and sustainable development of Yanwangbizi Reservoir in Chaoyang, Liaoning Province.

Key words Yanwangbizi Reservoir; DPSIR model; Ecological security

水库是人类对水资源调控的一种重要水体, 集生产、生活、运输等功能于一体, 在人们生产和日常生活中占有举足轻重的作用。伴随着人类生产和生活对水库的干扰日益增加, 水库的生态系统遭到了一定程度的破坏, 全国一些水库(如三峡水库、大伙房水库等)曾经出现富营养化状况, 给流域水生态环境造成了严重影响。因此, 水库生态安全问题不容忽视。水库生态安全评估是环境问题溯源、制定有效保护方案的主要手段, 对水库生态风险具有预警作用。

生态安全是统筹经济、社会发展、生态环境保护三者协调发展的重要前提^[1-4]。最初的生态安全表现为生态系统应对“外部干扰”所展示的功能状况^[5]。随着生态安全意识的提高以及工作内涵的拓展, 流域生态安全的概念在生态学领域应运而生^[6]。江河湖泊作为水-陆-海物质循环和营养传递的重要传输通道, 给人类的生产和生活带来了“高额”生态服务。近些年, 经济和社会发展给水环境质量带来了巨大的压力, 水质恶化、生态流量降低、栖息地消亡和生物多样性破坏等水生态环境问题日益恶化, 使水生态安全状况受到威胁^[7-9]。然而, 关于水生态安全评估的研究报道很少。构建科学的水库水生态安全评估指标体系, 对于系统揭露水库存在的生态环境危机具有重要指导作用。当前国内的水库水

生态安全评估对评价概念、体系、方法方面进行了探讨, 还没有较为成熟应用的理论基础。尤其是评价方法选取上, 不同水库采用的方法也不尽相同^[10-12]。其中, DPSIR(“驱动力-压力-状态-影响-响应”模型)大多集中应用于丹江口、鲁班、于桥水库等安全评估^[13-15], 关于东北老工业基地(辽宁地区)的应用则鲜见报道。阎王鼻子水库地处辽宁省朝阳市龙城区与朝阳县交界处, 是大凌河流域朝阳段上游仅有的一座水利枢纽工程, 主要用于防洪和饮用水, 同时兼顾农业用水、水电和观光的国家大型(II)型控制性水利工程。该水库作为辽宁省大凌河流域重要的控制性水利工程, 在保障区域生态环境和居民日常取水需求方面占有举足轻重的地位。然而, 氮磷负荷过大、消落带功能丧失等生态环境问题给阎王鼻子水库带来了一系列的环境威胁。因此, 有必要构建适合阎王鼻子水库的生态安全评价指标体系, 评估“十三五”期间阎王鼻子水库的生态安全状况, 以为阎王鼻子水库的可持续发展作出重要贡献, 为辽宁地区水库的流域生态文明建设提供技术支撑。

1 阎王鼻子水库概况

阎王鼻子水库处于辽宁省朝阳市辖区内, 位于朝阳市龙城区与朝阳县交界处, 因其所处地势险要而得名。该水库控制流域面积 9.482 km², 是按照“百年一遇”洪水设计、“千年一遇”洪水校核, 并将流域内的防洪标准提高到“50 年一遇”。阎王鼻子水库为东北老工业基地辽宁省朝阳市城区提供工业用水和居民生活饮用水。同时, 水库及其周边景色优

基金项目 辽宁省自然科学基金项目(2022-MS-100); 国家“十三五”科技重大水专项(2018ZX07601-002)。

作者简介 何军(1965—), 男, 辽宁沈阳人, 教授级高级工程师, 从事水生态方面的研究。

收稿日期 2022-06-13; **修回日期** 2022-07-13

美、交通便利,具有日常休闲和生态旅游服务的功能。

2 概念模型

生态安全评估主要是以水库的水生态健康情况为中心,综合考虑水域和陆域的情况,采用 DPSIR 模型开展水库生态安全评估。选取 5 类指标全面地展示水库生态安全所处的

等级,更有效地揭露经济、社会发展“驱动力”给水库生态安全带来的“压力”,给水库生态安全评价开辟了良好的研究途径。笔者从水库层面构建符合流域特色的水库生态安全评估模型图(图 1)^[16]。

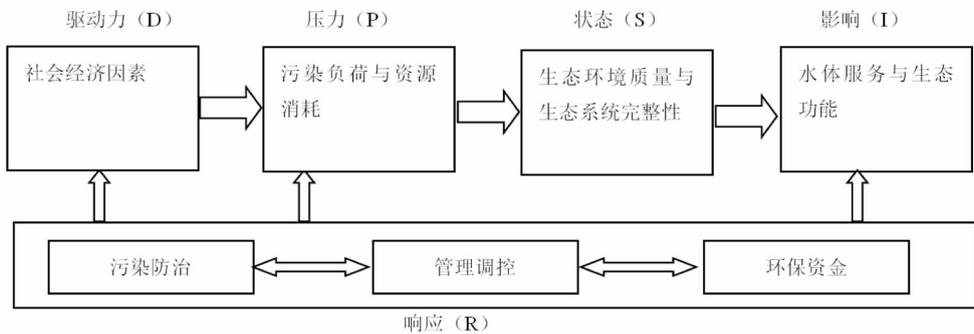


图 1 水库 DPSIR 模型

Fig. 1 DPSIR model of this reservoir

3 评估指标设计与选择

生态安全评估从经济与社会发展、水生态健康、服务功能和管理调控层面进行考虑,以水库区域内主要污染物的变化为研究对象,选用能够量化的指标开展优选。

3.1 社会与经济指标 经济与社会发展指标考虑驱动力和压力层面。驱动力指标选取水库区域经济系统的相关指标,主要考虑人口、经济和社会方面;压力指标则是社会发展给水库带来的环境效应,突出反映流域污染负荷指数。

3.2 水生态健康指标 生态健康指标可以从水质与水生态层面来反映。水质指标涵盖了反映水体的环境质量监测指标,比如高锰酸盐指数、总氮指数、总磷指数、透明度、叶绿素 a 指数等。水生态指标涵盖了群落层次的浮游植物多样性指数、浮游动物多样性指数、底栖生物多样性指数。

3.3 生态服务功能指标 水库的生态服务功能集中表现在水环境质量、水生态和景观服务等层面。利用这一思路,影响指标包括水库的饮用水服务功能、生物栖息地服务功能、人文景观服务功能等。

3.4 调控管理指标 调控管理指标则是人们的“反馈”方式对社会经济发展的调控以及对水库水质水生态的改善作用。响应指标的设计和选取应从政策入手,考虑经济和环境 2 个维度,即资金投入和污染治理。

4 评估方法

4.1 标准等级的选取 各项指标标准等级的确定是水库生态安全评估过程中的重要环节,通过全面对标分析确定选取指标在标准中的等级。优选的标准值应遵循“有据可查”的原则,按照国家和国际标准、结合文献资料记载的流域现状和应用理论进行指标定量,采取国内外类比法对评价指标逐一开展分级划分^[17]。

4.2 数据的预处理和标准化 数据的量化应该依据 Weber-Fishna 定律^[18]。根据该定律,对评价指标开展分级划分:

- a) 正向型指标: $r_{ab} = x_{ab}/s_{ab}$
- b) 负向型指标: $r'_{ab} = 1/r_{ab}$

式中, x_{ab} 为点位 b 中 a 指标值; s_{ab} 为所评价指标的标准值。 r_{ab} 为无量纲,范围为 0~1,如遇到大于 1 的情况则按 1 计; r'_{ab} 与 r_{ab} 是倒数关系。

4.3 权重的计算 权重的计算利用层次分析法 (analytic hierarchy process, 简称 AHP)^[19]。对人的客观判断进行了定量分析,延续了判断者思考行为的相同性。该方法是一种可靠的综合评估方法,通过简单加权方式对每个层次重要性进行定量化计算。主要步骤如下。

(1) 层次结构模型的建立。阎王鼻子水库评价指标层级如表 1 所示。

表 1 阎王鼻子水库评价指标层级
Table 1 Index layer of Yanwangbizi Reservoir

A 层 A layer	B 层 B layer	C 层 C layer	D 层 D layer	
A 生态安全 Ecological security	B ₁ 社会与经济	C ₁ 人口	D ₁ 单位面积人口数 D ₂ 出生率 D ₃ 人均收入	
		C ₂ 经济	D ₄ 城市用地比例 D ₅ 农业用地比例	
		C ₃ 社会	D ₆ 污染负荷指数 D ₇ 高锰酸钾指数	
		C ₄ 污染负荷	D ₈ 总氮指数 D ₉ 总磷指数	
			D ₁₀ 透明度	
		C ₅ 水质	D ₁₁ 叶绿素 a 指数 D ₁₂ 浮游植物 D ₁₃ 浮游动物 D ₁₄ 底栖生物	
	B ₂ 水生态健康	C ₆ 富营养化	D ₁₅ 饮用水安全指数	
			C ₇ 水生态	D ₁₆ 安全人口占比 D ₁₇ 水网密度指数 D ₁₈ 土地胁迫指数
			C ₈ 饮用水	D ₁₉ 植被覆盖指数 D ₂₀ 生物丰度指数
		B ₃ 生态服务功能	C ₉ 栖息地	D ₂₁ 环保资金比例
			C ₁₀ 人文景观	D ₂₂ 工业污水治理率 D ₂₃ 城镇污水治理率
				C ₁₁ 资金投入
B ₄ 调控管理	C ₁₂ 污染治理			

(2) 确定评估目标和因素。

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_p\}$$

(3) 构建矩阵。专家判别各个因素的重要性,得到矩阵元素值,该值一般用标度(1~9 或其倒数)体现^[20]。

根据上述方法建立正互反矩阵^[21]:

$$S = (U_{ij})_{p \times p} = \begin{pmatrix} U_1 \\ U_j \end{pmatrix} N \times N = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \cdots & \mu_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ \mu_{p1} & \cdots & \mu_{pp} \end{bmatrix}$$

①最大特征根 λ_{\max} 和特征向量的计算。

(a) 正规化。

$$\bar{U}_{ij} = \frac{U_{ij}}{\sum_{i=1}^n U_{ij}}, (i, j = 1, 2, \dots, p)$$

(b) 正规化后的判断矩阵各列按行相加。

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{U}_{ij}, (i, j = 1, 2, \dots, p)$$

(c) 正规化向量。

$$\bar{W} = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_p)^T$$

$$W = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^p \bar{W}_i}, (i = 1, 2, \dots, p)$$

计算得到 $W = (W_1, W_2, \dots, W_p)$, 即为对应指标在各个层次上的权重。

(d) 最大特征根 λ_{\max} 的确定。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i}$$

式中, $(AW)_i$ 表示向量 AW 的第 i 个元素。

②一致性检验。运用一致性比率,即一致性指标(CI)和平均随机指标(RI)的比值,评判检验结果的准确性^[22]。

采取上述方式,获得阎王鼻子水库生态安全评估的 A 层—D 层评价矩阵(表 2~15):

表 2 B 层对 A 层的矩阵

Table 2 The matrix of B layer to A layer

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
B ₁	1	2	2	3
B ₂	1/2	1	1	2
B ₃	1/2	1	1	2
B ₄	1/3	1/2	1/2	1
W	0.423 1	0.227 4	0.227 4	0.122 2

对表 2 进行一致性检验,一致性指标(CI)为 0.054 3,RI 取值 0.9。经计算,一致性比率为 0.060 3,该数值小于 0.10 表明权重合理且结果准确。

表 3 准则层(C)对目标层(B₁)的矩阵

Table 3 The matrix of criteria layer(C) to target layer(B₁)

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	1	2	1	1/3
C ₂	1/2	1	1	1/4
C ₃	1/2	1	1	1/4
C ₄	3	4	4	1
W	0.219 5	0.121 4	0.121 4	0.537 6

注: $\lambda_{\max} = 4.000 59, CI = 0.006 86, RI = 0.9, CR = 0.007 6 < 0.10$ 。

4.4 生态安全分级标准 评估数值仅仅展示最终的评估结果,无法反映生态系统的安全水平。为了使评估数值能够真实反映生态系统的安全状态,对数值限值进行了等级划分。该研究借鉴全国重点湖泊水库生态安全评估的方法^[23],具体见表 16。

表 4 准则层(C)对目标层(B₂)的矩阵

Table 4 The matrix of criteria layer(C) to target layer(B₂)

B ₂	C ₅	C ₆	C ₇
C ₅	1	3	2
C ₆	1/3	1	1/2
C ₇	1/2	2	1
W	0.539 6	0.163 4	0.297 0

注: $\lambda_{\max} = 3.009 2, CI = 0.004 6, RI = 0.58, CR = 0.007 9 < 0.10$ 。

表 5 准则层(C)对目标层(B₃)的矩阵

Table 5 The matrix of criteria layer(C) to target layer(B₃)

B ₃	C ₈	C ₉	C ₁₀
C ₈	1	2	2
C ₉	1/2	1	2
C ₁₀	1/2	2	1
W	0.490 5	0.197 6	0.311 9

注: $CR = 0.046 3 < 0.10$ 。

表 6 准则层(C)对目标层(B₄)的矩阵

Table 6 The matrix of criteria layer(C) to target layer(B₄)

B ₄	C ₁₁	C ₁₂
C ₁₁	1	1/2
C ₁₂	2	1
W	0.333	0.667

注: $CR = 0 < 0.10$ 。

表 7 指标层(D)对准则层(C₁)的矩阵

Table 7 The matrix of indicator layer(D) to criteria layer(C₁)

C ₁	D ₁	D ₂
D ₁	1	2
D ₂	1/2	1
W	0.667	0.333

注: $CR = 0 < 0.10$ 。

表 8 指标层(D)对准则层(C₃)的判断矩阵

Table 8 The matrix of indicator layer(D) to criteria layer(C₃)

C ₃	D ₄	D ₅
D ₄	1	1/2
D ₅	2	1
W	0.333	0.667

注: $CR = 0 < 0.10$ 。

表 9 指标层(D)对准则层(C₅)的判断矩阵

Table 9 The matrix of indicator layer(D) to criteria layer(C₅)

C ₅	D ₇	D ₈	D ₉
D ₇	1	3	2
D ₈	1/3	1	1/2
D ₉	1/2	2	1
W	0.511 8	0.186 9	0.301 3

注: $CR = 0.054 < 0.10$ 。

表 10 指标层(D)对准则层(C₆)的矩阵

Table 10 The matrix of indicator layer(D) to criteria layer(C₆)

C ₆	D ₁₀	D ₁₁
D ₁₀	1	1/2
D ₁₁	2	1
W	0.333	0.667

注:CR=0<0.10。

表 11 指标层(D)对准则层(C₇)的矩阵

Table 11 The matrix of indicator layer(D) to criteria layer(C₇)

C ₇	D ₁₂	D ₁₃	D ₁₄
D ₁₂	1	5	7
D ₁₃	1/4	1	4
D ₁₄	1/7	1/5	1
W	0.687 1	0.243 7	0.069 2

注:CR=0.018 9<0.10。

表 12 指标层(D)对准则层(C₈)的矩阵

Table 12 The matrix of indicator layer(D) to criteria layer(C₈)

C ₈	D ₁₅	D ₁₆
D ₁₅	1	2
D ₁₆	1/2	1
W	0.667	0.333

注:CR=0<0.10。

表 13 指标层(D)对准则层(C₉)的矩阵

Table 13 The matrix of indicator layer(D) to criteria layer(C₉)

C ₉	D ₁₇	D ₁₈
D ₁₇	1	2
D ₁₈	1/2	1
W	0.667	0.333

注:CR=0<0.10。

表 14 指标层(D)对准则层(C₁₀)的矩阵

Table 14 The matrix of indicator layer(D) to criteria layer(C₁₀)

C ₁₀	D ₁₉	D ₂₀
D ₁₉	1	1/2
D ₂₀	2	1
W	0.333	0.667

注:CR=0<0.10。

表 15 指标层(D)对准则层(C₁₂)的矩阵

Table 15 The matrix of indicator layer(D) to criteria layer(C₁₂)

C ₁₂	D ₂₂	D ₂₃	D ₂₄	D ₂₅
D ₂₂	1	2	1/2	3
D ₂₃	1/2	1	1/3	2
D ₂₄	2	3	1	4
D ₂₅	1/3	1/2	1/4	1
W	0.277 6	0.160 3	0.466 8	0.095 3

注:CR=0.011 4<0.10。

表 16 生态安全指数等级划分标准

Table 16 Classification criteria of ecological security index levels

分级 Grades	生态安全指数 ESI	安全状态 Safe state
I	>80~100	优秀
II	>60~80	良好
III	>40~60	一般
IV	>20~40	较差
V	0~20	差

4.5 评估过程及结果分析

4.5.1 B层评估。B层评估包括社会与经济、水生态健康、生态服务功能和调控管理4个层面。首先,对指标进行无量纲化(r_{ij})。利用以下公式获得每层的结果:

$$B_i = \sum_{j=1}^m W(CA)_i \times r_{ij} \times 100$$

式中, B_i 为B层*i*的数值; r_{ij} 为标准化赋分,介于0和1之间; $W(CA)_i$ 是C层在A层的权重值^[24]。

4.5.2 生态安全指数(ESI)计算。生态安全指数(ESI)采取加权求和方式计算:

$$ESI = \sum_{i=1}^n B_i \times W_j$$

式中,ESI为生态安全指数; B_i 为方案层*i*的值; W_j 为方案层*i*的权重^[24]。

水库生态安全评估结果见表17。

表 17 生态安全评估结果

Table 17 The ecological security assessment results

评价年份 Assessment year	社会与经济 Society and economy	水生态健康 Water ecological health	生态服务功能 Ecological service function	调控管理 Regulation and management	生态安全指数 ESI
2017	72.31	74.62	82.39	75.63	75.54
2018	74.09	76.57	84.33	77.26	77.38
2019	76.16	78.28	85.57	78.96	79.39

4.5.3 生态安全指数分析。通过生态安全评估结果(表17)可以看出2017—2019年阎王鼻子水库ESI值逐步提升,对比生态安全划分标准可知,阎王鼻子水库处于良好水平,水库的生态服务功能处于优秀水平,生态环境损毁程度可控,通过一系列的举措完全能够实现自我修复,生态威胁不大。

从表17可以看出,2019年阎王鼻子水库生态安全指数为79.39,与2017—2018年相比水库生态安全性得到了稳步提高,这主要是因为朝阳市、区政府对阎王鼻子水库的生态环境保护密切关注,采取了污染防治、发展绿色经济、保障

环保资金、加强环境管理、水源地规范化建设等一系列举措。

5 结论

当前,随着水源地生态文明建设工作深入,阎王鼻子水库所在地区配套了完整的废弃物治理设备,水库周边的点源污染通过水源地规范化建设得到了有效控制。然而,该水库周边多为农村地区,一些环境治理设施不能保障运行,农民环境意识淡薄,将给水库生态环境安全带来极大的隐患。如何更好地保护水库水质,成为阎王鼻子水库生态安全的关键。国内诸多水库的生态安全保护为阎王鼻子水库生态安

全保护提供了宝贵的经验,笔者基于以上经验提出以下建议:①增强水库的“山-水-林-田-湖-草”一体化功能;②配套水库周边的生态环境基础设施,保障环境治理设施的正常运行,减少污水排放和垃圾排放,防止生态环境退化;③推动区域畜禽粪便还田工作,实现畜禽粪便减量化;④建立市、区、县三方合作,共筑生态安全防线,全面保障水库生态安全;⑤成立专门的流域生态保护部门,配套水库保护法律和法规,制订水库环境保护与管理模式;⑥提高公众参与度,共同推动辽宁朝阳阎王鼻子水库健康、稳定、持续发展。

参考文献

- [1] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念和研究内容[J].应用生态学报,2002,13(3):354-358.
- [2] 王丽婧,郑丙辉.水库生态安全评估方法(I):IROW 框架[J].湖泊科学,2010,22(2):169-175.
- [3] BARNETT J. Environmental security [C]//KITCHIN R,THRIFT N. International encyclopedia of human geography. Oxford: Elsevier, 2009: 553-557.
- [4] 张远,高欣,林佳宁,等.流域水生态安全评估方法[J].环境科学研究,2016,29(10):1393-1399.
- [5] 吴计生,梁团豪,吕军.松花江流域主要河湖水生态现状评价[J].中国水土保持,2019(2):37-40.
- [6] 马玲玲,周林飞,张婷婷,等.基于压力-状态-响应模型的大伙房水库水源地安全评价研究[J].沈阳农业大学学报,2018,49(1):114-120.
- [7] BLINN D W,BAILEY P C E. Land-use influence on stream water quality and diatom communities in Victoria, Australia: A response to secondary salinization[J]. Hydrobiologia,2001,466(1/2/3):231-244.
- [8] VERHOEVEN J T A,ARHEIMER B,YIN C Q,et al. Regional and global concerns over wetlands and water quality[J]. Trends in ecology evolution, 2006,21(2):96-103.
- [9] HOORMAN J,HONE T,SUDMAN T,Jr,et al. Agricultural impacts on lake and stream water quality in Grand Lake St. Marys, Westen Ohio[J]. Water,air,and soil pollution,2008,193(1/2/3/4):309-322.
- [10] SOLOMON K R,SIBLEY P. New concepts in ecological risk assessment: Where do we go from here? [J]. Marine pollution bulletin,2002,44(4):279-285.
- [11] SOLOVJOVA N V. Synthesis of ecosystemic and ecoscreening modelling in solving problems of ecological safety [J]. Ecological modelling, 1999, 124(1):1-10.
- [12] ZUO W,ZHOU H Z,ZHU X H,et al. Integrated evaluation of ecological security at different scales using remote sensing:A case study of Zhongxian County,the Three Gorges Area,China[J]. Pedosphere,2005,15(4):456-464.
- [13] 王玲玲,张斌.基于 DPSIR 模型的丹江口库区生态安全评估[J].环境科学与技术,2012,35(S2):340-343.
- [14] 邓地娟,王静雅,谢强,等.鲁班水库生态安全状态评估研究[J].四川环境,2021,40(3):156-163.
- [15] 江文渊,张征云,张彦敏,等.于桥水库流域生态安全评估研究[J].环境科学导刊,2018,37(4):68-72.
- [16] 张松,郭怀成,盛虎,等.河流流域生态安全综合评估方法[J].环境科学研究,2012,25(7):826-832.
- [17] 李亚男.湖库生态安全综合评估:以浙江省六大重点水库为例[D].杭州:浙江大学,2014.
- [18] 李祚泳,丁晶,彭荔红.环境质量评价原理与方法[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [19] SAATY T L. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process[M]. Pittsburgh:RWS Publications,2000.
- [20] 赵鸣雁.水资源问题的多准则方法研究[D].大连:大连理工大学,2006.
- [21] 许树柏.实用决策方法:层次分析法原理[M].天津:天津大学出版社,1988.
- [22] 杨光华,包安明,陈曦,等.新疆博斯腾湖湿地生态质量的定量评价[J].干旱区资源与环境,2009,23(2):119-124.
- [23] 段文秀,朱广伟,刘俊杰,等.水源地区型水库生态安全评价方法探索[J].中国环境科学,2020,40(9):4135-4145.
- [24] 喻立,王健力,李昌晓,等.基于 DPSIR 与 AHP 的宁夏沙湖湿地健康评价[J].西南大学学报(自然科学版),2014,36(2):124-130.
- [18] JARMAN J L,JONES W J,HOWELL L A,et al. Application of capillary electrophoresis to study the enantioselective transformation of five chiral pesticides in aerobic soil slurries[J]. J Agric Food Chem,2005,53(16):6175-6182.
- [19] QIU J,DAI S H,ZHENG C M,et al. Enantiomeric separation of triazole fungicides with 3- μm and 5- μm particle chiral columns by reverse-phase high-performance liquid chromatography[J]. Chirality,2011,23(6):479-486.
- [20] PAN R,CHEN H P,WANG C,et al. Enantioselective dissipation of acephate and its metabolite, methamidophos, during tea cultivation, manufacturing, and infusion[J]. J Agric Food Chem,2015,63(4):1300-1308.
- [21] WANG X Y,ZHANG H,XU H,et al. Direct chiral determination of acephate and its metabolite methamidophos in vegetables using QuEChERS by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Anal Methods,2013,6(1):133-140.
- [22] NELANDER H,ANDERSSON S,OHLÉN K. Evaluation of the chiral recognition properties as well as the column performance of four chiral stationary phases based on cellulose (3,5-dimethylphenylcarbamate) by parallel HPLC and SFC [J]. J Chromatogr A, 2011, 1218 (52): 9397-9405.
- [23] WILLIAMS K L,SANDER L C,WISE S A. Comparison of liquid and supercritical fluid chromatography for the separation of enantiomers on chiral stationary phases [J]. J Pharm Biomed Anal,1997,15(11):1789-1799.
- [24] WEST C,CIESLIKIEWICZ-BOUET M,LEWINSKI K,et al. Enantiomeric separation of original heterocyclic organophosphorus compounds in supercritical fluid chromatography[J]. Chirality,2013,25(4):230-237.
- [25] NISHIKAWA Y. Supercritical fluid chromatographic separation of synthetic pyrethroids on packed columns and capillary columns [J]. Anal Sci, 1992,8(6):817-822.
- [26] CHEN Z L,DONG F S,XU J,et al. Stereoselective separation and pharmacokinetic dissipation of the chiral neonicotinoid sulfoxaflor in soil by ultraperformance convergence chromatography/tandem mass spectrometry [J]. Anal Bioanal Chem,2014,406(26):6677-6690.
- [27] DEL NOZAL M J,TORIBIO L,BERNAL J L,et al. Separation of alendazole sulfide enantiomers by chiral supercritical-fluid chromatography [J]. J Biochem Biophys Methods,2002,54(1/2/3):339-345.
- [28] LIU A,DONG F S,XU J,et al. Stereoselective determination of tebuconazole in water and zebrafish by supercritical fluid chromatography tandem mass spectrometry [J]. J Agric Food Chem,2015,63(28):6297-6303.
- [29] TORIBIO L,DEL NOZAL M J,BERNAL J L,et al. Chiral separation of some triazole pesticides by supercritical fluid chromatography [J]. J Chromatogr A,2004,1046(1/2):249-253.
- [30] QI P P,WANG X Y,ZHANG H,et al. Rapid enantioseparation and determination of isocarboxiphos enantiomers in orange pulp, peel, and kumquat by chiral HPLC-MS/MS [J]. Food Anal Methods,2015,8(2):531-538.
- [31] CHEN H P,YIN P,WANG Q H,et al. A modified QuEChERS sample preparation method for the analysis of 70 pesticide residues in tea using gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Anal Methods, 2014,7(8):1577-1587.
- [32] ANDRADE G C R M,MONTEIRO S H,FRANCISCO J G,et al. Liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry and dynamic multiple reaction monitoring method for determining multiple pesticide residues in tomato [J]. Food Chem,2015,175:57-65.
- [33] ANASTASSIADES M,LEHOTAY S J,STAJNBAHER D,et al. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce [J]. J AOAC Int,2003,86(2):412-431.

(上接第 162 页)