

基于 SRP 模型的南水北调西线水源区生态脆弱性评价

张怡非

华北水利水电大学, 河南郑州, 450000;

摘要: 南水北调西线工程是缓解黄河上游水资源短缺问题的重要手段, 其水源区有高寒高海拔的地理特性, 深入研究其生态脆弱性对工程完工后进行生态补偿有重要意义。研究基于“敏感性-恢复力-压力度”模型 (SRP 模型), 进行南水北调西线工程水源区生态脆弱性评估。研究表明: 水源区生态脆弱性空间分布以轻度脆弱为主, 石渠县和德格县属于生态环境较为脆弱区域, 其次为甘孜县、色达县, 此外由于炉霍县因原生生态基底良好, 脆弱性特征不明显。一定程度上说明了对水源区生态补偿差异性分配的必要性。

关键词: srp 模型; 生态脆弱性评价; 南水北调

DOI: 10.69979/3060-8767.25.01.045

引言

生态脆弱性是指遭受外界人为干扰或者自然影响时, 生态系统表现出对外界环境的敏感性和自身内部恢复力的一种属性^[1]。生态脆弱性作为衡量区域可持续发展水平以及评价生态环境现状和发展趋势的一个重要指标。对于生态脆弱性评价, 目前被广泛应用于诊断区域生态问题、识别关键脆弱因子, 在构建评价体系方面, 国内外的学者大多是基于对生态脆弱性内涵及其内在原因的研究。“压力-状态-响应”(PSR)模型是首个清晰构建的、用于阐释人类与生态系统内在因果关联的体系化框架^[2], 基于 PSR 模型进一步改良, 衍生出“暴露-敏感-适应”(VSD)^[3]、“压力-敏感-弹性”(PSE)以及 SRP 等模型^[4], 其中 SRP 模型能够因地制宜选择具有代表性的指标, 且能强调外部干扰与生态系统之间的因果关系, 故其能更好地体现自然影响和人为活动对生态系统的干扰, 更加适合应用于受气候等自然条件制约且经济发展迅速的生态脆弱区的生态脆弱性评价^[5]。

因此, 本文以南水北调西线工程水源区为研究区, 充分考虑指标的客观性和研究区独特的地理环境特征, 基于 SRP 评价模型探究生态脆弱性空间演变特征, 期为政府在水源区生态补偿方面政策制定和实施提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南水北调西线工程雅砻江调水问题所涉及地区主要指甘孜藏族自治州下辖甘孜、德格、石渠、色达、炉霍五县, 水源区位于青藏高原东南部, 在北纬 29° 50'

到 33° 50'、东经 90° 30' 到 103° 30' 之间。水源区由甘孜县、德格县、石渠县、色达县、炉霍县五县组成, 其地理位置和地形条件如图 1 所示。

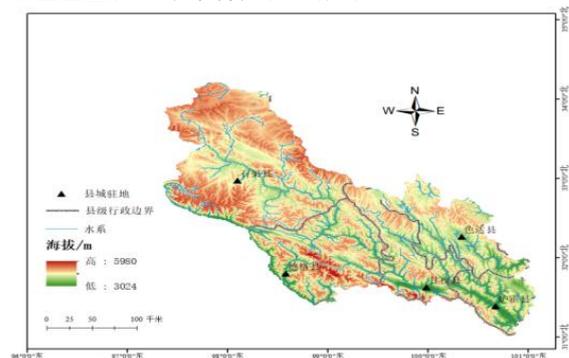


图 1 水源区五县地理位置

1.2 数据来源

本研究中的基础数据包括水源区包括土地利用数据、高程数据、土壤数据、年均温度数据、年降水量数据以及地均 GDP 数据和人口密度数据。其中土地利用数据来源于中科院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn/>)。高程数据来源于地理空间数据云 (<https://www.gscloud.cn/>)。土壤数据来源于世界土壤数据库 (<https://gaez.fao.orgpages/hwsd>)。年均温度、年降水量数据、地均 GDP 和人口密度数据来自数据来源于地球资源数据云平台 (www.gis5g.com)。

1.3 研究方法

1.3.1 水源区生态脆弱性指标体系构建

本文采用的 SRP 模型构建水源区生态脆弱性评价体系, 分别从生态敏感性、恢复力及压力度三个准则层筛选指标。

生态敏感性指生态系统对外界干扰（自然或人为）的响应程度。水源区地处青藏高原东南部、海拔较高且年气温偏低。基于以上特殊的地理环境拟从水土流失强度、地形因子、地表因子、气象因子四个维度筛选指标，参考其它学者的指标选取结果^[6]，可见，海拔、坡度、土地利用类型、年均气温、年均降水量、水土流失侵蚀强度等指标的选取具有普遍适用性，而本研究在考虑水源区特殊地理环境的条件下增加了地形起伏度和坡向两个指标。

生态恢复力是指生态系统在遭受干扰后维持原有功能、结构并恢复至稳定状态的能力，强调系统吸收冲击、适应变化和重组更新的动态过程。考虑到植被的生长离不开气温和降水条件，其对生态恢复力的提高而言同样有显著作用，基于以上各种原因结合其他学者指标选取结果^[7]，本文选用植被覆盖度、生态环境质量指数、年均气温、年均降水量这四项指标，以衡量生态恢复力。

生态压力度外界自然或人为因素对生态系统造成的干扰强度及其累积效应，反映生态系统承受的短期冲击与长期胁迫的综合程度。其核心在于量化压力源对生态结构和功能的负面影响，为生态系统管理与修复提供依据。这类影响主要来源于人类活动和社会经济发展，促使自然资源开发利用强度加剧，加剧生态环境的脆弱性。基于上述原因结合相关文献^[8]，本文选取人口密度、地均 GDP 来表征生态压力度。

综上所述，本文结合 SRP 模型，依据水源区自然环境、生态系统及社会经济特征，从生态敏感性、生态恢复力、生态压力度 3 个方面选取指标，最终确定 12 个指标构建起生态脆弱性评价指标体系，具体如下表 1 所示

表 1 水源区生态脆弱性评价指标体系

目标层 (A)	准则层 (B)	要素层 (C)	指标层 (D)	
生态脆弱性评价指标体系	生态敏感性	水土流失敏感因子	土壤侵蚀强度 (D1)	
			地形起伏度 (D2)	
		地形因子	海拔 (D3)	
			坡度 (D4)	
			坡向 (D5)	
			土地利用类型 (D6)	
	生态恢复力	地表因子	年均气温 (D7)	
			年均降水 (D8)	
		气象因子	植被覆盖度 (D9)	
			生态环境质量指数 (D10)	
			生态因子	人口密度 (D11)
				地均 GDP (D12)
生态压力度	社会经济			

1.3.2 指标标准化

(1) 极差法

本研究运用 Min-Max 标准化方法对各评价指标实施归一化处理，计算公式为：

$$\text{正向指标 } r_{ij} = \frac{(x_{ij} - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} \quad (1)$$

$$\text{负向指标 } r_{ij} = \frac{(x_{max} - x_{ij})}{(x_{max} - x_{min})} \quad (2)$$

式中：

r_{ij} ——标准化后的值；

x_{ij} ——指标实际数值；

x_{max} ——指标在研究区内的最大值；

x_{min} ——指标在研究区内的最小值；

(2) 分级赋值法

本文选取指标中有土地利用类型和坡度坡向无法直接采用极差法进行标准化处理，需要通过分级赋值法进行赋值处理。

土地利用方式作为人类活动干扰生态环境的直观体现，因不同地类受外界干扰的程度存在差异，本节相关文献成果^[9]，对土地利用类型中的各地类实施分级赋值处理，见表 2

表 2 水源区土地利用类型分级及赋值表

	林地、水域	草地	耕地	建设用地	未利用地
坡度分级	2	4	6	10	8

结合《土壤侵蚀分类分级标准 (SL190-2007)》以及水源区地理环境将其划分为以下 6 个等级，见表 2

表 3 高海拔地区水源区坡度分级

	平坡	缓坡	斜坡	陡坡	急坡	险坡
坡度分级	≤5	5~8	8~15	15~25	25~35	35~90

坡向直接调控坡面太阳辐射入射量及降水再分配过程，将坡向分为 6 级，并对其进行赋值见表 4，

表 4 水源区坡向分级及赋值表

	平地	北坡	东北、西北坡	东坡、西坡	东南、西南坡	南坡
坡度分级	0	1	2	3	4	5

1.3.3 生态脆弱性指数及等级划分

各指标基于 AHP-CRITIC 博弈论组合赋权法后，通过线性加权求和得到水源区生态脆弱性指数见下式：

$$EVI = \sum_{i=1}^n S_i \cdot W_i \quad (3)$$

式中：

EVI——生态脆弱性指数；

S_i ——指标的标准值涵盖生态敏感性指数、生态恢复力指数和生态压力度指数；

W_i ——指标权重；

n ——指标的个数。

再此基础上利用生态脆弱性综合指数进一步研究区域综合生态脆弱性状况，见下式：

$$EVSI = \sum_{i=1}^n P_i * \frac{A_i}{S} \quad (4)$$

式中：

P_i ——不同脆弱性对应的等级值；

A_i ——等级 i 所对应的研究区面积；

S ——水源区总面积值。

为消除量纲对结果的影响和建立统一的评价标准，将上述结果进行标准化。计算公式为：

$$EEVI_i = \frac{EVI_i - EVI_{min}}{EVI_{max} - EVI_{min}} \quad (5)$$

式中：

EEVI $_i$ ——生态脆弱性指数标准化值；

EVI $_i$ ——生态脆弱性指数原始值；

EVI $_{max}$ ——生态脆弱性指数最大值；

EVI $_{min}$ ——生态脆弱性指数最小值；

生态脆弱性指数越大，表明研究区的生态环境越脆弱，越易受外界干扰。可将其分为 5 个等级，见表 5：

表 5 水源区生态脆弱性等级划分标准

脆弱性	等级	EEVI 值
潜在脆弱	1	(0,0.2)
微度脆弱	2	[0.2,0.4)
轻度脆弱	3	[0.4,0.6)
中度脆弱	4	[0.6,0.8)
重度脆弱	5	[0.8,1)

2 结果与分析

2.1 生态脆弱性空间分布特征

基于 SRP 模型，水源区生态脆弱性指数介于 0.07931 至 0.4852 之间（图 2），其空间分布特征中脆弱性指数中高值区主要分布于西南部雀儿山、北部巴喀喀拉山脉、南部沙鲁里山等高海拔山区；低值区则集中于中部河谷地带。

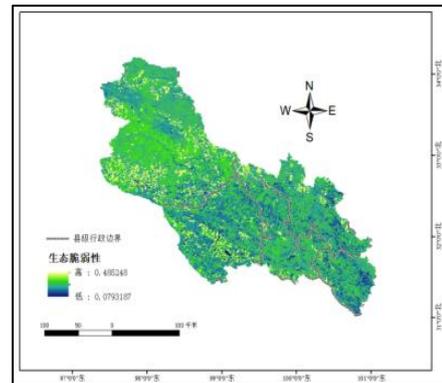


图 2 水源区生态脆弱性空间分布图

2.2 生态脆弱性分级

为直观呈现水源区生态脆弱性现状，对生态脆弱性指数实施分级处理（图 3），获取水源区生态脆弱性空间分布格局图，并统计各级生态脆弱性面积及占比情况。

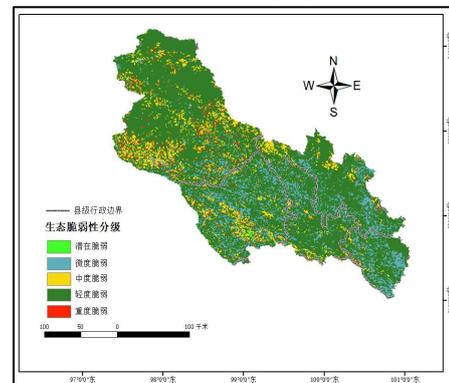


图 3 水源区生态脆弱性指数分级图

表 6 水源区各县市脆弱性面积统计表（单位：km²）

行政区名称	潜在脆弱	微度脆弱	轻度脆弱	中度脆弱	重度脆弱
炉霍县	3.79	1211.70	3210.07	152.41	31.24
甘孜县	5.68	1043.20	5552.06	576.51	80.49
德格县	36.92	2609.89	8019.01	1214.54	255.59
色达县	0.00	1459.72	7052.49	418.42	63.48
石渠县	0.95	1146.38	18515.39	3125.81	880.38

从各县市生态脆弱性的面积占比来看（图 4）：炉霍县、甘孜县等五县生态脆弱性均以轻度脆弱为主。

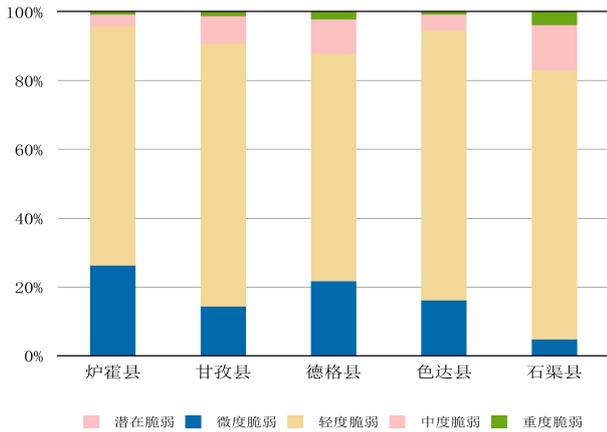


图4 水源区各县脆弱性等级面积占各县国土总面积的百分比

3 结论

本章运用遥感数据、土地利用数据、地形数据、气象数据及社会经济统计数据，以栅格为评价单元，依托SRP模型构建南水北调西线水源区生态脆弱性评价指标体系，针对区域生态脆弱性的时间演变特征与空间分布规律展开研究。综合上述研究，本章主要得出以下结论：

从水源区生态脆弱性整体空间来看，以轻度为主，主要分布于四周山区，该类区域林草覆盖率较高；县城驻地周边表现为中度脆弱区与潜在脆弱区、轻度脆弱区交错分布特征，这主要是由于经济社会发展导致人口压力增大，进而造成生态承载力下降。从县域尺度来看，石渠县和德格县属于生态环境相对脆弱区域，甘孜县、色达县次之；而炉霍县因原生生态环境基础良好，其脆

弱性水平变化并不显

参考文献

- [1] 乔青, 高吉喜, 王维, 等. 生态脆弱性综合评价方法与应用[J]. 环境科学研究, 2008, 21(5): 117-123
- [2] 薛联青, 王晶, 魏光辉. 基于PSR模型的塔里木河流域生态脆弱性评价[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2019, 47(1): 13-19
- [3] 陈臻琦, 张靖, 张貽龙, 等. 基于VSD的近20a来浑善达克沙地生态脆弱性变化研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(5): 1464-1473.
- [4] 张泽, 胡宝清, 丘海红, 等. 基于山江海视角与SRP模型的桂西南-北部湾生态环境脆弱性评价[J]. 地球与环境, 2021, 49(3): 297-306.
- [5] 刘申怡. 基于SRP模型的高寒区生态脆弱性评价与影响因素分析——以雅鲁藏布江泽当宽谷为例[J/OL]. 河南科学, 1-12
- [6] 赵美龄. 黄土高原生态环境脆弱性评价[D]. 成都理工大学, 2021.
- [7] 廖元群. 基于SRP模型的江西省生态脆弱性评价[D]. 江西师范大学, 2021.
- [8] 何丽华, 李建松, 王熙, 等. 水源保护区的生态脆弱性及生态修复成效分析[J]. 测绘科学, 2022, 47(08): 59-69.
- [9] 雷嫦. 基于SRP模型的贵阳市生态环境脆弱性动态评价[D]. 贵州师范大学, 2021