

丹江口库区生态安全的时空演变规律及其调控措施

彭哲¹, 郭宇^{2,3}, 郝仕龙³, 侯梅芳²

(1. 河南省土地整理中心, 河南 郑州 450016; 2. 上海应用技术大学 生态技术与工程学院, 上海 201418; 3. 华北水利水电大学 资源与环境学院, 河南 郑州 450046)

摘要: [目的] 评价河南省淅川县是丹江口水库核心水源区生态安全状况, 旨在为保障南水北调中线工程功效长久发挥提出相应的调控措施。[方法] 以淅川县各乡镇为评价单元, 利用改进“PSR”模型、层次分析法和 GIS 技术, 进行淅川县生态安全时空演变规律研究, 并运用主成分分析法研究了淅川县生态安全主要驱动因子。[结果] ① 淅川县生态安全状况虽有波动但整体好转。与 2000 年相比, 2015 年中警和预警状态的乡镇各减少了 3 个, 而较安全状态的乡镇增加为 6 个。② 淅川县生态安全空间格局呈东北、西南等级较高, 西北、东南等级较低的态势。③ 通过驱动力分析发现淅川县生态安全等级提升的主要原因为积极的环境治理响应。[结论] 生态安全的良性转变需通过积极引导人类活动, 多措并举共同作用促进区域生态安全和社会经济的可持续发展。

关键词: 生态安全; 时空演变; 驱动力; 淅川县; 南水北调

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)01-0212-08

中图分类号: X826

文献参数: 彭哲, 郭宇, 郝仕龙, 等. 丹江口库区生态安全的时空演变规律及其调控措施[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 212-219. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.034; Peng Zhe, Guo Yu, Hao Shilong, et al. Spatial-temporal evolution of eco-security and control measures of Danjiangkou reservoir area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1): 212-219.

Spatial-temporal Evolution of Eco-security and Control Measures of Danjiangkou Reservoir Area

Peng Zhe¹, Guo Yu^{2,3}, Hao Shilong³, Hou Meifang²

(1. Land Consolidation Center of He'nan Province, Zhengzhou, He'nan 450016, China; 2. School of Ecology Technology and Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China; 3. School of Resources and Environment, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou, He'nan 450046, China)

Abstract: [Objective] To evaluate the eco-security status in Xichuan County of He'nan Province, the core water source area of Danjiangkou reservoir, in order to put forward corresponding control measures to ensure the long-term performance of the middle route of south-to-north water diversion project. [Methods] Based on the improved PSR (pressure-state-response) model, AHP (analytic hierarchy process) and GIS technology, the temporal and spatial evolution of ecological security in Xichuan County was evaluated. The main driving factors of ecological security in Xichuan County was analyzed by principal component analysis. [Results] ① The eco-security situation of Xichuan County fluctuated, but overall improved. Compared with 2000, the towns with medium and primary warning were reduced by 3, while the towns with the relatively safe increased by 6 in 2015. ② The spatial pattern of eco-security in Xichuan County was higher in the northeast and southwest, but lower in the northwest and southeast. ③ According to the driving force analysis, it was found that the main reason for the improvement of eco-security level in Xichuan County was the positive

收稿日期: 2018-04-19

修回日期: 2018-09-15

资助项目: 河南省国土资源厅土地科技项目“土地整治对土地利用及生态服务价值影响研究”(豫国土资发[2018]125号); 水利部黄土高原水土流失过程与控制重点实验室开放课题基金资助项目(201603)

第一作者: 彭哲(1973—), 女(汉族), 湖北省武汉市人, 本科, 工程师, 主要从事土地规划与利用研究。E-mail: 442718113@qq.com。

通讯作者: 郭宇(1995—), 男(汉族), 四川省仁寿县, 硕士研究生, 研究方向为水环境与水生态规划。E-mail: 2528824571@qq.com。

response of environmental governance. [Conclusion] The benign transformation of ecological security needs to promote regional eco-security and sustainable socio-economic development by actively guiding human activities and multi-raising measures.

Keywords: eco-security; spatial-temporal evolution; driving force; Xichuan County; south to north water diversion project

生态安全与国防安全、经济安全同等重要,都是国家安全的重要基石^[1]。中国生态安全研究始于 1990 年代后期,生态安全研究是一个新兴研究领域,也是可持续发展研究的前沿领域^[2]。广大学者在生态服务价值^[3-4]、生态足迹^[5-7]、生态风险^[8-9]、生态安全评价^[10-11]等领域进行了广泛深入的研究,但目前对生态安全研究以大、中尺度居多,缺乏对小尺度分析。针对同一研究区选取不同的研究尺度能展现不同的格局过程和结果^[12-13]。对大、中尺度区域进行生态安全研究只能得出该大、中区域生态安全状态的变化^[14-16];以小尺度区域为评价单元进行分析,不仅可以揭示该区域内生态安全的空间分布规律,更能具体地针对不同评价单元找出各自的主要问题并提出有针对性的建议^[17-18]。

河南省淅川县位于南水北调丹江口水源重点保护区,是南水北调中线工程渠首所在地,其生态安全问题会影响南水北调工程效益的长久发挥。因此,本文拟选取淅川县为研究区,基于当前生态安全研究的特点,以乡镇为评价单元进行小尺度生态安全评价研究,具体反映淅川县生态安全时空动态演变过程,以期为保护水源区的生态安全探寻合理的调控措施提供依据。

1 研究区概况、数据来源及方法模型

1.1 研究区概况

淅川县位于河南省南阳市的西南边陲,河南、湖北和陕西 3 省交界的交界地带,占国土面积 2 798 km²,得名于浙水冲击形成的百里平川。其境内的丹江口水库是亚洲最大的人工淡水湖,同时淅川县也是南水北调中线工程的主要淹没区、渠首工程和干线工程所在地。淅川县下辖 16 个乡镇,537 个行政村,南水北调中线核心水源区面积占全县国土总面积的 92.8%,达 2 616 km²。地貌高低落差较大,西北高、东南低,北、西、南三面环山,地形似马蹄状。境内海拔高程最高达 1 086 m,最低为 120 m,平均海拔为 567.67 m。淅川县资源丰富,气候适宜,四季分明,雨量充沛。

1.2 数据来源

研究数据包括社会经济数据、环境保护数据和地

理空间数据,其中环境监测数据和地理空间数据由当地相关职能单位提供,社会经济数据主要通过走访农户、查阅历年《淅川县统计年鉴》《南阳市统计年鉴》及相关统计公报获得。

1.3 方法模型

1.3.1 PSR 模型法(压力—状态—响应模型) 本文使用被广泛承认的 PSR 模型^[19]构建评价指标体系。P—R—S 框架模型包含 3 个相互联系的系统,其中压力指标指人类活动对生态系统造成的直接压力因素,如人口、经济、环境等方面的压力;状态指标指在人类活动压力下资源环境所处的状态,例如水(土)资源、水环境、生物多样性等方面的状态;响应指标指人类应对各类环境问题时所采取的应对方式,它随着社会的进步而变化。

1.3.2 层次分析法 层次分析法、Delphi 法(专家调查法)、熵权法等为目前常用的确定指标权重的方法。层次分析法为定性分析与定量分析相结合的系统分析法,将人的经验等主观定性分析定量化,思路简单,运算方便,适用于指标数据多而复杂且难以量化的决策问题。生态安全评价时各评价指标对结果的影响程度不同,分析较复杂且难以量化,因此本文选取层次分析法为确定各评价指标的权重的方法。

2 结果与分析

2.1 生态安全时空动态分析

2.1.1 指标体系的构建 本文结合南水北调中线河南省水源区淅川县的生态环境特点,构建了包含 29 个指标的水源区小尺度生态安全评价指标体系(如表 1 所示)。该体系包含了 4 个层次系统,其中,目标层表征了淅川县生态安全的总体水平和程度,为综合性指标。依据“压力—状态—响应”(P—S—R)模型建立的目标层(O)将生态安全系统分为 3 个子系统,分别是生态系统压力、生态系统状态、生态系统响应子系统。在准则层(A)的基础上可进一步可划分出不同的因素层(B),生态系统压力又可划分为人口压力、经济水平压力、经济发展压力、环境压力;生态系统状态进一步划分为水资源状态、土地资源状态、水环境状态、生物多样性状态;生态系统响应可划分为

环境治理响应(土地、水)、人文社会保障响应、经济发
展响应。指标层(C)是用以衡量因素层各部分的

直接度量的单项指标,是整个指标体系最基本的
层面。

表 1 丹江口库区水源区生态安全评价指标体系

目标层 O	准则层 A	因素层 B	指标层 C	权重	指标性质	基准值
生态安全综合值	生态系统压力	人口压力	人口自然增长率/%	0.008 4	-	5
			人口密度/(人/km ²)	0.033 6	-	128.78
		经济水平压力	人均 GDP(元)	0.119 4	+	30 000
			城镇化率/%	0.023 9	-	60
		经济发展压力	人均 GDP 增长率/%	0.047 3	+	8
			GDP 年增长率/%	0.015 8	+	10
		环境压力	单位面积耕地化肥负荷/(kg·hm ⁻²)	0.105 0	-	255
			单位面积耕地农药负荷/(kg·hm ⁻²)	0.105 0	-	0.13
			单位面积耕地地膜负荷/(kg·hm ⁻²)	0.035 0	-	6
	水资源状态	水域面积率/%	0.004 1	+	10	
		农村自来水普及率/%	0.0206	+	70	
	土地资源状态	耕地粮食单产/(kg·hm ⁻²)	0.007 0	+	6 500	
		水浇地占农田比例/%	0.002 8	+	70	
		人均耕地面积/hm ²	0.001 0	+	0.053	
	水环境状态	BOD 生化需氧量/(mg·L ⁻¹)	0.135 0	-	3	
		总磷/(mg·L ⁻¹)	0.004 0	-	0.1	
		COD 化学需氧量/(mg·L ⁻¹)	0.239 0	-	15	
		氨氮/(mg·L ⁻¹)	0.004 0	-	0.5	
溶解氧/(mg·L ⁻¹)		0.007 8	-	6		
生物多样性状态	森林覆盖率/%	0.017 9	+	80		
	生物丰度指数	0.089 3	+	21		
环境治理响应(土地)	水土流失治理率/%	0.086 1	+	60		
	有效灌溉面积占农田比例/%	0.021 2	+	80		
	节水灌溉面积占有效灌溉面积之比/%	0.0172	+	75		
环境治理响应(水)	工业废水排放达标率/%	0.012 0	+	100		
	工业 SO ₂ 排放达标率/%	0.005 1	+	95		
	工业粉尘排放达标率/%	0.005 1	+	90		
人文社会保障响应	农民人均纯收入(元)	0.027 3	+	10 000		
经济发展响应	第三产业占 GDP 比重/%	0.136 7	+	40		

2.1.2 生态安全等级的划分 根据计算出来的浙川
县各乡镇生态安全值,结合研究区的生态安全状况,
将浙川县丹江口库区的生态安全划分为 5 个等级:红

色预警级、橙色预警级、黄色预警级、蓝色预警级和绿
色安全级,表示严重程度依次减轻,各个等级分布情
况(详见表 2)。

表 2 丹江口库区生态安全等级划分

等级	生态安全范围	生态安全状况	状态特征
I	[0,0.2]	红色预警级	生态环境恶化,生态系统结构受到极大破坏,功能低下或丧失,生态恢复和重建极难,生态灾害频繁
II	(0.2,0.4]	橙色预警级	生态环境较差,生态系统结构受损大,功能部分丧失,系统自我调节能力严重下降,生态灾害容易发生
III	(0.4,0.6]	黄色预警级	生态环境受损,生态系统结构变化显现,功能退化,系统自我调节能力差,生态灾害偶尔发生
IV	(0.6,0.8]	蓝色预警级	生态环境较少受到破坏,系统结构较完整,功能尚好,系统自我调节能力和抗干扰能力强,生态灾害不大
V	(0.8,1]	绿色安全级	生态环境很好不受干扰,生态系统结构和功能完善,系统有高度自我调节能力和抗干扰能力,生态灾害少

2.1.3 时间演变分析 从表 3 中可以看出,2000—2015 年淅川县各乡镇生态安全综合值整体呈波动上升的趋势,其中 2000—2006 年生态安全综合值增长缓慢,2006 年后增长趋势明显。2000 年各乡镇生态安全

综合值差别较小,至 2015 年各乡镇生态安全综合值差异增大,变化程度最小的为城关镇,变化值小于 0.1;变化程度最大的为香花镇,变化值大于 0.4;变化值大于 0.2 的乡镇有香花、上集、大石桥和滔河等。

表 3 丹江口库区生态安全变化

地区	年份															
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
香花镇	0.45	0.44	0.47	0.52	0.52	0.45	0.54	0.56	0.59	0.50	0.59	0.65	0.61	0.60	0.61	0.72
西簧乡	0.45	0.42	0.50	0.53	0.48	0.52	0.50	0.46	0.54	0.56	0.57	0.49	0.53	0.60	0.55	0.64
滔河乡	0.35	0.38	0.32	0.39	0.39	0.40	0.35	0.42	0.44	0.46	0.39	0.45	0.50	0.54	0.49	0.58
寺湾镇	0.41	0.37	0.42	0.44	0.44	0.42	0.43	0.43	0.48	0.53	0.47	0.53	0.51	0.55	0.59	0.55
盛湾镇	0.44	0.44	0.39	0.43	0.40	0.47	0.44	0.49	0.45	0.52	0.44	0.49	0.49	0.54	0.49	0.54
上集镇	0.42	0.44	0.45	0.45	0.45	0.41	0.47	0.51	0.55	0.58	0.59	0.58	0.54	0.60	0.56	0.64
毛堂乡	0.48	0.54	0.53	0.53	0.46	0.45	0.47	0.48	0.50	0.53	0.46	0.52	0.51	0.57	0.59	0.64
马锺镇	0.41	0.40	0.47	0.47	0.47	0.48	0.46	0.50	0.52	0.53	0.54	0.57	0.58	0.47	0.56	0.51
老城镇	0.46	0.47	0.43	0.48	0.48	0.50	0.44	0.52	0.57	0.45	0.51	0.57	0.55	0.60	0.54	0.65
九重镇	0.40	0.40	0.45	0.43	0.47	0.47	0.50	0.51	0.52	0.55	0.53	0.55	0.57	0.58	0.54	0.56
荆紫关镇	0.41	0.41	0.41	0.43	0.44	0.49	0.49	0.51	0.53	0.56	0.57	0.44	0.52	0.56	0.57	0.56
金河镇	0.44	0.45	0.41	0.42	0.43	0.43	0.39	0.46	0.49	0.53	0.53	0.54	0.48	0.59	0.52	0.55
厚坡镇	0.39	0.39	0.41	0.34	0.40	0.41	0.35	0.43	0.43	0.45	0.45	0.38	0.45	0.47	0.49	0.53
大石桥乡	0.37	0.37	0.44	0.43	0.43	0.37	0.44	0.39	0.39	0.47	0.40	0.46	0.48	0.55	0.49	0.59
城关镇	0.42	0.43	0.41	0.38	0.38	0.39	0.33	0.43	0.45	0.43	0.47	0.38	0.45	0.40	0.48	0.45
仓房镇	0.46	0.45	0.51	0.52	0.44	0.46	0.41	0.42	0.46	0.56	0.54	0.56	0.54	0.58	0.56	0.63

从图 1 中可以看出,处于橙色预警级的乡镇个数在 2000—2012 年逐渐减少,至 2012 年减少为 0 个,其间于 2006 年存在较大波动,增长为 4 个;处于黄色预警级的乡镇个数在 2000—2006 年在 12~14 个间存在较低的波动,2006—2014 年显著上升,而 2014—2015 年急剧减少 5 个;处于蓝色预警级的乡镇于 2011 年开始出现,至 2013 年增长为 4 个,2014 年出现较大的异常波动 2013—2014 年减少 3 个而 2014—2015 年增加了 5 个。研究时段内均未出现生态安全等级为红色预警级和绿色安全级的乡镇。2000—2011 年处于橙色预警级和黄色预警级的乡镇个数变化情况呈负相关关系,2012 年后处于橙色预警级的乡镇消失,开始出现处于蓝色预警级的乡镇,之后处于黄色预警级和蓝色预警级的乡镇个数呈负相关变化。

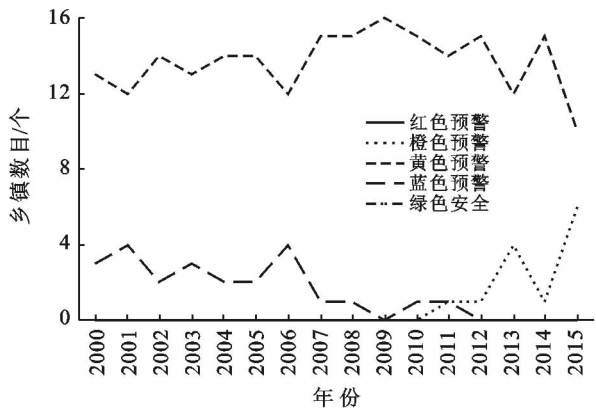


图 1 丹江口库区生态安全等级乡镇个数变化

压力贡献度增加量为 2015 年压力占该年生态安全的比值减去 2000 年压力占该年生态安全的比值。从图 2 中可以看出,2000—2015 年压力对生态安全综合值的贡献程度明显减少,多为负值,只有香花镇、大石桥乡、滔河乡 3 个乡镇为正值,但值极小。状态对生态安全综合值的贡献程度的增加和减少幅度均较小,且以减少居多;而响应对生态安全综合值的贡献程度均为正值,呈增加状态,其中城关和马锺镇增幅超过 15%,香花镇、滔河和大石桥乡增幅最低均未超过 5%。

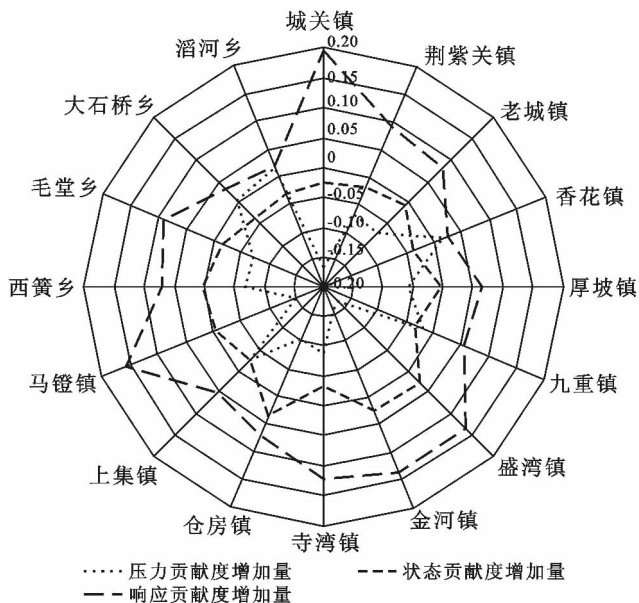


图 2 丹江口库区压力、状态、响应指标对生态安全综合值的贡献度变化

显而易见,压力对浙川县各乡镇生态安全综合值的贡献程度被响应的贡献度替代,即人们对影响生态安全的因素做了积极的响应。

综上所述,研究时段内浙川县各乡镇生态安全状况虽有波动但整体好转,生态系统压力影响程度减少,即人类对环境造成的压力减小;生态系统状态的影响程度变化不明显,即生态环境所处的状态变化较小;而生态系统响应的影响程度增大,即人们为生态系统良性转变而不懈努力。

2.1.4 空间演变分析 运用 ArcGIS 10.3 软件将各乡镇对应的分级结果进行空间展示,得出浙川县生态安全空间分布特征(图 3)。

从图 3 可以看出,2000 年和 2005 年相比处于橙色预警级的乡镇由 4 个减少为 2 个,其中大石桥乡依

旧处于橙色预警级,滔河、厚坡、香花这 3 个乡镇由橙色预警转变为黄色预警,警情下降,而城关镇却由黄色预警变为橙色预警,警情加重。2005 年和 2010 年相比处于各预警级的乡镇个数不变,但城关镇由橙色预警转变为黄色预警而滔河乡却由黄色预警变为橙色预警。2010 年和 2015 年相比,各乡镇的预警等级均由劣转好,其中大石桥乡和滔河乡由橙色预警转为黄色预警,西簧、毛堂、上集、老城、仓房、香花等 6 个乡镇生态安全等级由黄色预警转为蓝色预警。除西北部和中部的紫荆关、寺湾、盛湾、马蹬等 4 个乡镇在 15 a 间生态安全预警等级未发生变化外,其余 12 个乡镇生态安全预警等级均呈好转趋势。空间上呈东北、西南预警等级高,西北、东南预警等级低的分布格局(图 3)。

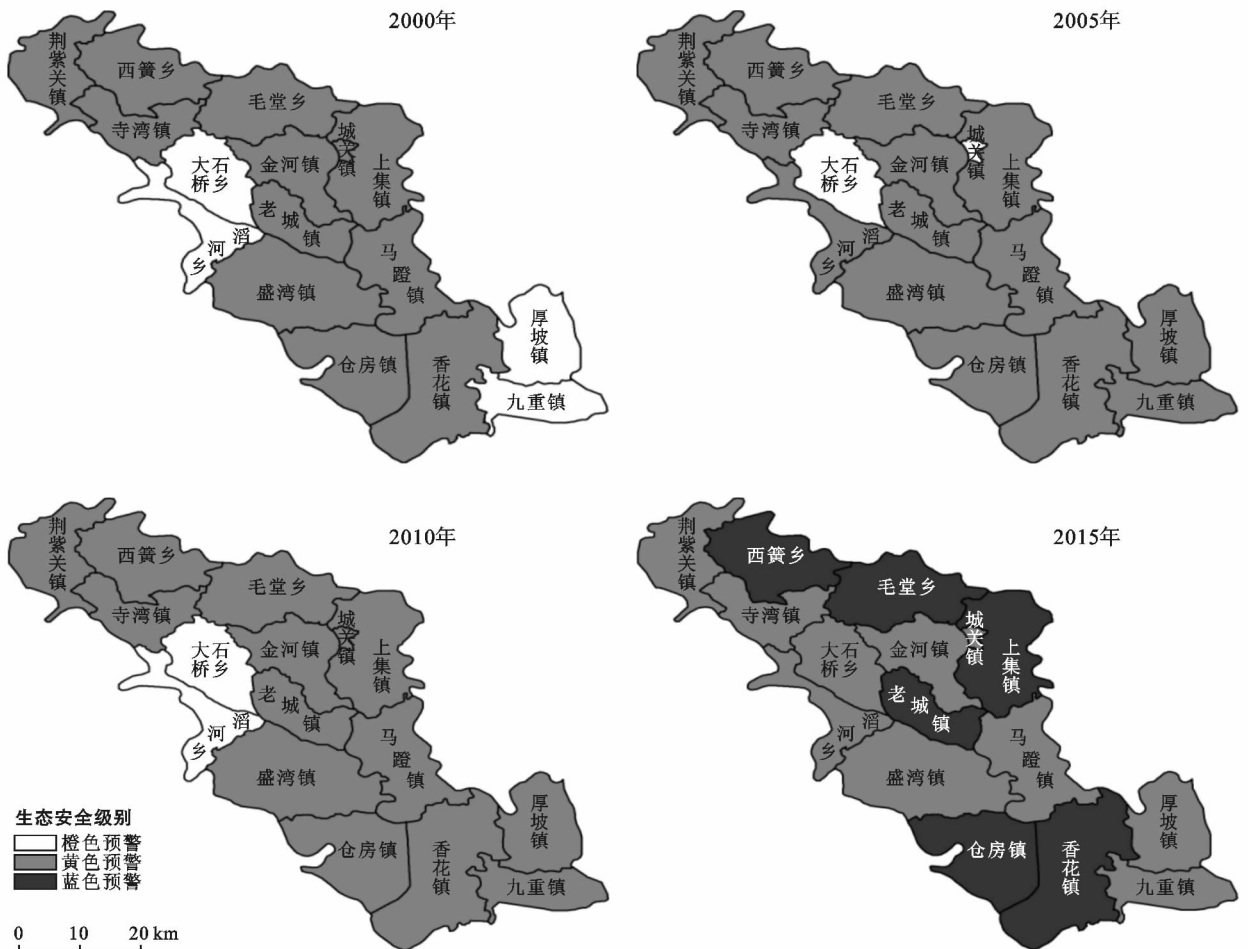


图 3 2000—2015 年浙川县生态安全等级变化

2.2 驱动力分析

2.2.1 主成分分析 采用相关性分析方法分别对压力、状态、响应层的指标进行筛选,对相关性较大的指标予以删除,消除指标数据的重叠度。对筛选后的指标进行主成分分析,有效避免因子自相关性较高对结果的影响。对压力层指标的相关性分析,其分析结果见表 4。

根据压力层指标相关性分析的结果(表 4)剔除城镇化率、单位面积耕地农药负荷、GDP 年增长率 3 个信息重叠度较大的指标,其余指标予以保留。同理,状态层指标中对水域面积率、水浇地占农田比例、生物丰度指数 3 个指标和响应层中对农民人均纯收入一个指标予以删除。

表 4 丹江口库区生态安全压力层指标的相关性分析结果

指标	人口自然增长率	人口密度	人均 GDP	城镇化率	人均 GDP 增长率	GDP 年增长率	单位面积耕地化肥负荷	单位面积耕地农药负荷	单位面积耕地地膜负荷
人口自然增长率	1.000	0.380	0.183	-0.364	-0.128	-0.172	-0.010	0.26	0.170
人口密度	0.380	1.000	0.527	-0.718	-0.295	-0.522	-0.234	-0.159	0.127
人均 GDP	0.183	0.527	1.000	-0.906	-0.332	-0.463	-0.929	-0.878	-0.437
城镇化率	-0.364	-0.718	-0.906	1.000	0.467	0.593	0.718	0.630	0.222
人均 GDP 增长率	-0.128	-0.295	-0.332	0.467	1.000	0.913	0.153	0.860	0.580
GDP 年增长率	-0.172	-0.522	-0.463	0.593	0.913	1.000	0.276	0.211	0.148
单位面积耕地化肥负荷	-0.010	-0.234	-0.929	0.718	0.153	0.276	1.000	0.989	0.610
单位面积耕地农药负荷	0.26	-0.159	-0.878	0.630	0.860	0.211	0.989	1.000	0.677
单位面积耕地地膜负荷	0.170	0.127	-0.437	0.222	0.580	0.148	0.610	0.677	1.000

相关性分析将重叠度较大的指标予以删除后,借助 SPSS 24.0 软件对筛选后的 22 项评价指标进行主成分分析,以 2000—2015 年的时间序列数据为样本,对浙川县生态安全驱动力进行分析,寻求影响生态安全的主要驱动因素。

主成分个数确定原则有:相关矩阵特征值大于 1 及其对应的主成分累积贡献率大于 85%。从表 5 中可以看出特征值大于 1 的指标共有 5 个,其余指标的特征值均小于 1,其中主成分 1 的特征值大于 12,前 5 个主成分的累积贡献率为 89.826%,高于 85%的要求,因此选取这 5 个主成分进行提取分析。

表 5 丹江口库区生态安全评价指标方差分解主成分提取分析

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	12.366	56.209	56.209	12.366	56.209	56.209
2	3.693	16.786	72.995	3.693	16.786	72.995
3	1.497	6.803	79.799	1.497	6.803	79.799
4	1.156	5.253	85.052	1.156	5.253	85.052
5	1.050	4.774	89.826	1.050	4.774	89.826
6	0.730	3.320	93.146			
7	0.430	1.954	95.100			
8	0.336	1.525	96.626			
9	0.260	1.183	97.809			
10	0.215	0.977	98.786			
11	0.114	0.517	99.304			
12	0.062	0.284	99.587			
13	0.044	0.198	99.785			
14	0.024	0.109	99.893			
15	0.023	0.107	100.000			
16	—	—	—			

表 6 反映各评价指标与主成分间的关系,指标与某一主成分的联系系数的绝对值越大,则该主成分与

指标间的联系越紧密^[20]。从表 5 和表 6 中可以看出,第 1 主成分贡献率为 56.21%,在其上载荷较高的指标有:人均 GDP、单位面积耕地化肥负荷、农村自来水普及率、人均耕地面积、BOD 生化需氧量、森林覆盖率、有效灌溉面积占农田比例、工业废水排放达标率、工业 SO₂ 排放达标率、工业粉尘排放达标率、第三产业占 GDP 比重、节水灌溉面积占有效灌溉面积比例、水土流失治理率等,其中只有人均耕地面积和单位面积耕地化肥负荷表现出较大的负相关关系,其余指标均表现较强的正相关关系,这些指标综合性极强;第 2 主成分贡献率为 16.79%,在人口密度、耕地粮食单产和总磷这 3 个指标上有较高的载荷。第 3,4,5 主成分分别在人口自然增长率、COD 生化需氧量和人均 GDP 增长率上有较高的载荷。

综上所述,第 1 主成分载荷较大的指标多为响应层中指标,特别是环境治理响应,与时间演变分析所得结论相符,说明对环境治理的响应为生态安全等级提升的主要原因,其次为压力和状态的影响。

2.2.2 调控措施分析 由时间演变分析发现,浙川县生态安全综合值的增长经历了两个阶段,以 2006 年为时间节点,2006 年以前生态安全综合值增长缓慢,其后增长明显。这主要是因为自 2000 年南水北调工程总体格局基本确定后,为保护水源区水质安全政府开始进行生态保护工作探索,这段时期由于缺乏相关经验通过严格的环保政策措施以牺牲经济发展的方式进行环境保护,但成效不太显著;至 2006 年拥有大量工作经验后,政府转变工作思路,注重生态经济协调发展,建立健全生态保护的法律法规,限制企业的三废排放量,针对经济发展与生态保护的矛盾转变粗放的经济发展模式,调整产业结构,结合丹江口水库的区位优势积极发展现代观光农业,调整农业内部产业结构,提高农业产出率,使生态和经济效益均得到明显提升,实现生态经济的良性发展。

表 6 丹江口库区生态安全各评价指标载荷值矩阵

驱动因子	主成分				
	1	2	3	4	5
人口自然增长率	0.051	-0.387	0.741	0.113	-0.018
人口密度	0.292	-0.757	0.324	-0.165	0.311
人均 GDP	0.958	-0.196	-0.003	-0.058	0.110
人均 GDP 增长率	-0.326	0.574	0.198	0.034	0.657
单位面积耕地化肥负荷	-0.975	-0.127	-0.003	-0.023	-0.148
单位面积耕地地膜负荷	-0.592	-0.429	-0.019	0.451	0.233
农村自来水普及率	0.894	0.302	0.118	0.066	0.203
人均耕地面积	-0.892	-0.254	0.259	-0.035	-0.051
耕地粮食单产	0.562	0.754	0.178	-0.074	0.049
BOD 生化需氧量	0.855	-0.189	0.045	0.205	-0.113
总磷	-0.304	0.826	-0.079	0.052	0.137
COD 化学需氧量	-0.694	0.064	-0.071	0.600	0.057
氨氮	0.279	0.611	0.440	0.396	-0.326
溶解氧	0.541	0.435	0.424	-0.380	-0.212
森林覆盖率	0.967	-0.200	-0.017	0.031	0.108
有效灌溉面积占农田比例	0.905	0.174	-0.227	0.027	0.207
工业废水排放达标率	0.863	-0.284	-0.211	-0.216	0.070
工业 SO ₂ 排放达标率	0.914	-0.324	0.073	0.040	0.119
工业粉尘排放达标率	0.865	0.085	-0.148	0.179	0.144
第三产业占 GDP 比重	0.842	-0.308	-0.031	0.210	-0.214
节水灌溉面积占有效灌溉面积比例	0.941	0.010	0.164	0.226	-0.072
水土流失治理率	0.830	0.137	-0.369	0.116	-0.236

研究时段内大量的环境指标均得到部分提升,但和理想值还有一定的差距,如生物丰度指数、人均耕地面积等;有些指标与理想值差距较远,如人口密度、农民人均纯收入、森林覆盖率等;有些指标甚至恶化,如农村面源污染指标等。根据主成分分析的结果提出相应的调控措施:

(1) 针对生态系统响应的调控措施。政府应加强对民众生态保护的宣传教育,提高生态安全意识;进一步促进经济生态协调发展,加强新型农业产业的探索,进行农产品深加工,开发其附加值,提高农民收入;对水土流失严重的地区,采取植树种草、坡改梯等水保措施进行积极治理。

(2) 对生态系统压力的调控措施。控制人口过快增长,提高人口素质;投入资金、技术,推动地方与高校的深入合作,加强研究,确立当地适宜的发展模式,实现农业绿色发展,推动农业机械化,实现农业现代化,促进农民收入和生活质量的提高;针对研究期内单位面积耕地化肥和农药负荷增加,应推动农业科技创新,增施有机肥及用生物技术防治病虫害。

(3) 对生态系统状态的调控措施。加大对耕地的保护力度,通过土地整治、基本农田建设和农田改

造等措施保障耕地的质与量;限制企业和引导居民减少生产、生活废水的排放;通过政策引导和对居民的宣传教育的方式进一步提高森林覆盖率,保护动植物,保护生物多样性;对生态受损的区域,采取合理的修复措施加以修复。

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究在构建小尺度生态安全评价指标体系的基础上,对浙川县生态安全进行时空动态分析,根据生态安全研究结果,从自然和人文两个方面进行了驱动机制分析,并针对生态安全状况,提出了生态安全调控措施。

(1) 研究时段内浙川县生态安全状况虽有波动但演变趋势整体向好。从压力、状态、响应指标对生态安全贡献度的角度来看,压力指标对生态安全的贡献大幅减小,响应指标对生态安全的贡献大幅增加,状态指标贡献度变化较小。可以看出人们对生态系统施加的压力减少,对生态安全作出的响应程度增加,生态安全状况明显好转。

(2) 就全县生态安全发展态势来看,生态安全等

级虽有好转但仍不稳定,尤其是农村面源污染,如单位面积耕地化肥负荷和单位面积耕地农药负荷等因素的负面压力仍在增加,因此,生态安全形势不容乐观。

(3) 浙川县生态安全空间格局呈东北、西南等级高,西北、东南等级低。

(4) 对浙川县进行驱动力分析发现环境治理的响应为生态安全等级提升的主要原因。根据主成分分析的结果分别从压力、状态、响应 3 个方面提出具体可行的调控措施,以促进其生态安全等级的持续提高。

3.2 讨论

本研究对浙川县各乡镇生态安全时空动态演变特征及主要驱动力进行了评价及分析,构建了水源区小尺度生态安全评价指标体系,并对水源区生态安全提出相应调控措施。本文所得出的结论与近年浙川县生态安全的实际情况较吻合,有一定的指导意义,但是本文在研究上依旧存在一些不足之处,需要展开更深入的探究:

(1) 生态安全受多种因素的限制,建立的指标体系的全面性难以保证,指标体系有待进一步完善。因此在建立科学完整且针对性强的评价指标体系和分级标准等方面的工作仍有待加强。

(2) 本文由于篇幅有限,只是对浙川县乡(镇)级的小尺度开展生态安全研究,县级尺度的生态安全研究还有待进一步开展,不同空间等级尺度条件下的区域生态安全状况可能会存在一定的差异。

[参 考 文 献]

- [1] 曲格平. 关注生态安全之一:生态环境问题已经成为国家安全的热门话题[J]. 环境保护, 2002(5):3-5.
- [2] 张向晖,高吉喜,董伟,等. 生态安全研究评述[J]. 环境保护, 2005(13):48-50.
- [3] 毕晓丽,葛剑平. 基于 IGBP 土地覆盖类型的中国陆地生态系统服务功能价值评估[J]. 山地学报, 2004, 22(1): 48-53.
- [4] 何浩,潘耀忠,朱文泉,等. 中国陆地生态系统服务价值测量[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6):1122-1127.
- [5] 张志强,徐中民,程国栋,等. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹[J]. 地理学报, 2001, 16(5):599-610.
- [6] 李东阳. 生态足迹模型在村庄层面应用的探索[J]. 环境保护科学, 2010, 36(6):24-27.
- [7] 刘少博,陈南祥,郝仕龙,等. 丹江口库区河南辖区生态环境可持续发展评价[J]. 人民黄河, 2016, 38(11): 80-84.
- [8] 徐羽,钟业喜,冯兴华,等. 鄱阳湖流域土地利用生态风险格局[J]. 生态学报, 2016, 36(23):7850-7857.
- [9] 徐建昭,郝仕龙,王玉英. 黄土丘陵区土地利用变化及其生态风险[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5):157-162.
- [10] 朱卫红,苗承玉,郑小军,等. 基于 3S 技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究[J]. 生态学报, 2014, 34(6):1379-1390.
- [11] 游文菘,丁惠君,许新发. 鄱阳湖水生态安全现状评价与趋势研究[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(12): 1173-1180.
- [12] 魏兴萍. 重庆市生态安全评价[J]. 中国岩溶, 2010, 29(2):145-151.
- [13] 徐晨曦. 冀北山区生态安全综合评价与演化机制研究[D]. 石家庄:河北师范大学, 2008.
- [14] 魏兴萍. 基于 PSR 模型的三峡库区重庆段生态安全动态评价[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9):1095-1099.
- [15] 宋玲玲,田青,李宗杰,等. 基于 PSR 模型的甘肃黄河流域生态安全研究[J]. 西部林业科学, 2015, 44(2): 126-130.
- [16] 杨红倩. 基于 PSR 模型的河北省生态安全评价研究[J]. 环境科学与管理, 2017, 42(2):185-189.
- [17] 解雪峰,吴涛,肖翠,等. 基于 PSR 模型的东辽河流域生态安全评价[J]. 资源科学, 2014, 36(8):1702-1711.
- [18] 魏伟,雷莉,周俊菊,等. 基于 GIS 和 PSR 模型的石羊河流域生态安全评估[J]. 土壤通报, 2015, 46(4): 789-795.
- [19] Tong Chuan. Review on environmental indicator research[J]. Research on Environmental Science, 2000, 13(4): 53.
- [20] 杨竞,童祯恭,刘玉哲. SPSS 软件对饮用水水质进行主成分分析评价的运用[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(7):171-174.