

基于 DPSIR 模型的渭河干流甘肃段生态安全评价

邵月花, 杨调调, 谈存峰

(甘肃农业大学 财经学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: [目的] 分析渭河干流甘肃段生态安全现状, 为该流域生态文明建设提供理论依据。[方法] 通过 DPSIR 模型构建渭河干流甘肃段生态安全评价指标体系, 运用组合赋权法确定指标权重, 并利用障碍模型诊断障碍因子。[结果] ① 渭河干流甘肃段生态安全指数呈先降后升的趋势, 生态安全等级由Ⅳ(较危险)经Ⅴ(危险)先向Ⅳ(较危险)再向Ⅲ(预警)转变; ② 项目层指数变化幅度较小, 驱动力、压力和影响指数波动下降, 状态和响应指数波动上升, 生态安全状况整体有所好转; ③ 人口增长率、经济增长率、植被覆盖率、城镇污水处理率和农业水利利用率是影响渭河干流甘肃段生态安全的主要障碍因子。[结论] 未来应注重经济、政治、文化、生态环境四者的有机统一, 进一步推动经济与生态的和谐发展。

关键词: 渭河干流甘肃段; 生态安全评价; DPSIR 框架; 障碍因子

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)03-0166-05

中图分类号: X826, X171.1

文献参数: 邵月花, 杨调调, 谈存峰. 基于 DPSIR 模型的渭河干流甘肃段生态安全评价[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 166-170. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.03.022; Shao Yuehua, Yang Diaodiao, Tan Cunfeng. Ecological security evaluation of Gansu section of Weihe River based on DPSIR model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(3): 166-170.

Ecological Security Evaluation of Gansu Section of Weihe River Based on DPSIR Model

Shao Yuehua, Yang Diaodiao, Tan Cunfeng

(College of Finance and Economics, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: [Objective] The ecological security status of the Gansu section of the main stream of the Weihe River was analyzed in order to provide a theoretical basis for ecological civilization construction of the river basin. [Methods] The DPSIR model was used to construct an ecological security evaluation index system for the Gansu section of the Weihe River. A combined weighting method was used to determine the index weight. An obstacle model was used to diagnose obstacle factors. [Results] ① The ecological safety index of the Gansu section of the main stream of the Weihe River initially decreased and then increased. The level of ecological safety changed from class Ⅳ (more dangerous) to Ⅴ (dangerous) to Ⅳ (more dangerous), and then to Ⅲ (forewarning); ② The project-level index exhibited a small degree of change. Fluctuations in the driving force, pressure, and impact index decreased. Fluctuations in the status and response index increased. The overall ecological security situation improved; ③ Population growth rate, economic growth rate, vegetation coverage rate, urban sewage treatment rate, and agricultural water use efficiency were the main obstacles affecting the ecological security of the Gansu section of the Weihe River. [Conclusion] In the future, greater attention should be focused on the integral unity of economy, politics, culture, and ecological environment, so as to further promote the harmonious development of the economy and ecology.

Keywords: Gansu section of the main stream of the Weihe River; ecological security assessment; DPSIR framework; obstacle factors

收稿日期: 2021-08-29

修回日期: 2021-12-08

资助项目: 甘肃省自然科学基金项目“黄河流域(甘肃段)面源污染遥感监测及污染空间特征解析”(20JR10RA442); 甘肃省技术创新引导计划—软科学专项(21CXZ6A076); 甘肃省教育厅优秀研究生“创新之星”项目(2021CXZX-384)

第一作者: 邵月花(1995—), 女(汉族), 甘肃省兰州市人, 硕士研究生, 研究方向为流域生态保护。Email: 1291222675@qq.com。

通信作者: 谈存峰, (1978—), 男(汉族), 甘肃省兰州市人, 硕士, 副教授, 主要从事农业可持续发展研究。Email: 364600588@qq.com。

随着社会经济的快速发展,人类活动强度大、自然资源开发利用不合理等多重压力的存在,对生态环境资源产生了巨大影响,严重威胁流域生态安全,制约了生态—社会—经济的可持续发展^[1]。目前,国外学者 Quigley^[2]以哥伦比亚流域为例构建生态安全评价体系;Decamps^[3]将生态安全理论拓展到河流污染研究;Atkin^[4],Span^[5]分别利用 DPSIR 模型研究不同尺度、不同领域的生态安全状况。随着生态安全体系的不断完善,国内在流域生态安全研究方面也涌现了大量的案例。艾克旦·依萨克^[6]运用 PSR(压力、状态、响应)模型分析阿克苏流域绿洲生态安全变化趋势;苏迎庆等^[7]对 2006—2018 年汾河流域土地生态安全预警测度及时空格局演变进行研究;黄蕊等^[8]通建立 BP 神经网络分析中国流域规划环评成效和不足。研究证明流域环境破坏严重、生物多样性保护功能降低^[9],水土流失风险加大、自然生态系统退化^[10],城镇扩张和农业生产对土壤侵蚀和水质污染作用强烈^[11-12]。

渭河干流甘肃段作为“古丝绸之路”的重要枢纽区,经济发展水平和城镇化水平居于甘肃省前列,生态安全状况受到广大学者的关注^[13]。然而,关于渭河干流甘肃段生态安全评价的方法多为定性评价法,评价体系多围绕水质指标展开,缺乏对陆域指标的设立和评价。鉴于此,本文在指标选取时不仅关注水体本身,而且充分考虑陆域生态要素的变化对流域生态环境的影响,通过 DPSIR 模型构建渭河干流甘肃段生态安全评价体系对 2010—2019 年的生态安全格局进行定量评价,以期为该流域生态文明建设提供理论支撑。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

渭河干流甘肃段位于 104°00′—108°45′E,34°12′—36°10′N 之间,南北宽 165 km,东西长 270 km,总面积约为 $2.58 \times 10^4 \text{ km}^2$,其 74% 的面积属于黄土丘陵沟壑区,是渭河泥沙的主要来源区。当今,由于社会经济的快速发展,人们对生态的破坏愈加严重,已严重影响影响到该流域的生态安全,对渭河干流区内经济、社会的可持续发展造成严重威胁。

1.2 数据来源与处理

本文选用指标的原始数据来源于 2011—2020 年的《甘肃省统计年鉴》《甘肃农村年鉴》《甘肃发展年鉴》《甘肃省水资源公报》《国民经济发展公报》《定西统计年鉴》和《天水经济年鉴》。通过隶属度分段函数(M_j)将指标原始数值进行标准化处理,正向、负向指

标分别利用公式(1)—(2)进行转化:

$$M_j = f(x) = \begin{cases} 0.1 & (x \leq L) \\ \frac{0.45(x-L)}{B-L} + 0.1 & (L < x \leq B) \\ \frac{0.45(x-B)}{U-B} + 0.55 & (B < x \leq U) \\ 1 & (x \geq U) \end{cases} \quad (1)$$

$$M_j = f(x) = \begin{cases} 1 & (x \leq L) \\ \frac{0.45(B-x)}{B-L} + 0.55 & (L < x \leq B) \\ \frac{0.45(U-x)}{U-B} + 0.1 & (B < x \leq U) \\ 0.1 & (x \geq U) \end{cases} \quad (2)$$

式中: M_j 为指标 X_j 转化后的隶属度,即标准化值; L 为下限值,是研究期间将指标数值从小到大排序再平均分成 5 段后,第 1,2 段的节点数值; U 为上限值,是研究期间将指标数值从小到大排序再平均分成 5 段后,第 4,5 段的节点数值; B 为基准值,是 L 和 U 的中点数值。

1.3 研究方法

1.3.1 DPSIR 模型 DPSIR 模型分为驱动力(D)、压力(P)、状态(S)、影响(I)和响应(R)5 个方面,能够反映经济发展、人类社会活动和生态环境之间的相互作用,是目前应用最为广泛的评价指标体系^[14]。根据渭河干流甘肃段生态环境面临的主要问题,从社会、经济、资源与环境方面选取反映驱动力、压力、状态、影响和响应的评价指标并构建评价体系(表 1)。其中,驱动力是促进流域生态安全系统变化最原始、最关键的指标,主要是社会经济发展方面的指标,如人口增长率和经济增长率;压力指人类直接作用于流域生态环境系统使其产生变化的力,如污染物排放和其他减小环境容量的指标;状态是在驱动力和压力的共同作用下流域生态系统功能的现实状况,包括植被覆盖率、水产品供给能力和水源地水质达标率;影响是流域生态退化、环境恶化所造成的影响,主要有荒漠化程度和成灾面积;响应指当地居民为保护流域生态安全做出的反应,如提高农业用水利用率和城镇污水处理率、建设自然保护区、增加环境治理投资力度等。

1.3.2 评价指标权重的确定 采用层次分析法和主成分分析法相结合的方法确定指标权重。首先利用层次分析法对项目层间的两两组合进行比较,判断各指标间的相对重要程度,构造判断矩阵,进行层次单、总排序和一致性检验得到项目层权重值(W_p);其次利用主成分分析法对研究期间每个项目层下的各个

指标提取公因子方差,计算得到每个指标的公因子方差在所有指标公因子方差中的比重,即为指标层权重 (W_i);最后将项目层权重与指标层权重相乘,得到一个指标的归一化权重 (W_n) (见表 1)。

表 1 渭河干流甘肃段生态安全评价指标体系及权重

目标层	项目层	项目层权重 (W_p)	指标层	安全趋向	指标序号	指标层权重 (W_i)	归一化权重 (W_n)
渭河干流甘肃段生态安全	驱动力(D)	0.290	人口增长率/%	-	X_1	0.554	0.161
			经济增长率/%	-	X_2	0.446	0.130
	压力(P)	0.224	COD 排放量/t	-	X_3	0.135	0.030
			TN 排放量/t	-	X_4	0.126	0.028
			TP 排放量/t	-	X_5	0.124	0.028
			SO ₂ 排放量/t	-	X_6	0.117	0.026
			固体废物排放量/t	-	X_7	0.134	0.030
			化肥施用量/t	-	X_8	0.111	0.025
			畜禽养殖量/万头	-	X_9	0.115	0.026
			农膜使用量/t	-	X_{10}	0.136	0.031
	状态(S)	0.172	植被覆盖率/%	+	X_{11}	0.411	0.071
			水产品供给能力/(t·hm ⁻²)	+	X_{12}	0.311	0.054
			水源地水质达标率/%	+	X_{13}	0.277	0.048
	影响(I)	0.140	荒漠化面积比/%	-	X_{14}	0.363	0.051
			旱灾/hm ²	-	X_{15}	0.232	0.032
			洪涝灾害/hm ²	-	X_{16}	0.213	0.030
			低温灾害/hm ²	-	X_{17}	0.191	0.027
	响应(R)	0.174	农业用水利用率/%	+	X_{18}	0.332	0.058
			城镇污水处理率/%	+	X_{19}	0.263	0.046
			自然保护面积比/%	+	X_{20}	0.255	0.044
			治理建设投资比/%	+	X_{21}	0.151	0.026

注:“+”为正向指标,数值越高,表示环境质量越好;“-”为负向指标,数值越高,表示环境质量越差。

1.3.3 综合评价价值和评价等级的确定 采用综合指数 (E) 来评价渭河干流甘肃段生态安全状况:

$$E_o = \sum_{j=1}^{\alpha} W_{nj} \times M_j \quad (3)$$

$$E_p = \sum_{j=1}^n W_{ij} \times M_j \quad (4)$$

式中: E_o 为渭河干流甘肃段生态安全综合指数; E_p 为渭河干流甘肃段项目层(驱动力、压力、状态、影响、响应)指数; W_{nj} 为第 j 个指标的归一化权重; W_{ij} 为第 j 个指标的权重; M_j 为第 j 个指标的标准化值; α 为指标个数 ($\alpha = 21$); n 为每一个项目层下的指标个数。

综合流域生态安全现状并参考相关研究^[15],将渭河干流甘肃段生态安全状况划分为 5 个等级: $0.8 < E_o \leq 1$,安全状态(I级); $0.6 < E_o \leq 0.8$,较安全状态(II级); $0.4 < E_o \leq 0.6$,预警状态(III级); $0.2 < E_o \leq 0.4$,较危险状态(IV级); $0 < E_o \leq 0.2$,危险状态(V级)。

1.3.4 障碍度模型 引入障碍度模型 (O_j) 分析影响渭河干流甘肃段生态安全的主要障碍因子:

$$O_j = \frac{(1-M_j) \times W_n}{\sum_{j=1}^{\alpha} (1-M_j) \times W_n} \times 100\% \quad (5)$$

式中: O_j 为障碍度,表示第 j 个指标对渭河干流甘肃段生态安全的影响程度; M_j 为第 j 个指标的标准化值; W_{nj} 为第 j 指标的归一化权重; α 为指标个数 ($\alpha = 21$)。

2 结果与分析

2.1 2010—2019 年渭河干流甘肃段生态安全评价

从权重计算结果来看(表 1),项目层中驱动力权重(0.290)和压力权重(0.224)最大,其次为响应权重(0.174)、状态权重(0.172)和影响权重(0.140),说明驱动力和压力对渭河干流甘肃段生态安全的贡献最大。从单项指标的归一化权重来看,人口增长率权重(0.161)和经济增长率权重(0.130)最大,其次为植被覆盖率权重(0.071)、农业用水利用率权重(0.058),说明人为保护对提高渭河干流甘肃段生态安全状况具有较大的作用,且流域本身的生态系统功能对其未来生态安全发展具有重要的导向作用。

2.1.1 渭河干流甘肃段生态安全综合指数分析 依据公式(3)计算得到 2010—2019 年渭河干流甘肃段生态安全综合指数(图 1)。由图 1 可知,渭河干流甘肃段生态安全综合指数虽在研究期间总体均不高,但先降低后逐步向好的趋势明显:①由 2010 年的 0.26 下降至 2011 年的 0.25,流域生态安全始终保持在Ⅳ(较危险)等级,说明渭河干流甘肃段生态安全状况不容乐观;②在 2012—2019 年,流域生态安全综合指数持续上升,生态安全状况也由Ⅴ(危险)先向Ⅳ(较危险)再向Ⅲ(预警)转变,表明渭河干流甘肃段现阶段生态安全状况虽较为严重,但前景乐观,必须不断采取积极有效的治理措施来改善流域的生态安全状况。

根据不同时期渭河干流甘肃段生态安全状况,可进一步将其生态安全趋势划分为 4 个阶段:①2010—2011 年,Ⅳ(较危险)等级缓慢下降,生态安全状况略有降低;②2012—2014 年,Ⅴ(危险)等级稳定上升,生态安全状态略微改善,说明 2012 年生态文明建设事业已取得初步成效;③2015—2017 年,Ⅳ(较危险)等级持续上升,生态安全恢复态势良好;④2018—2019 年,Ⅲ(预警)等级快速上升,生态安全稳步变好趋势明显,尤其是在 2015 年以后。

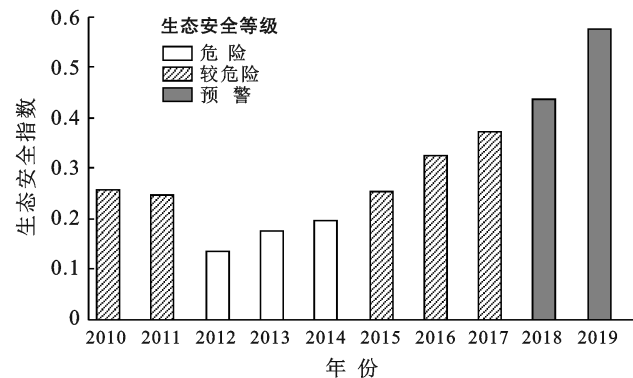


图 1 2010—2019 年渭河干流甘肃段生态安全评价结果

2.1.2 渭河干流甘肃段项目层指数分析 依据公式(4)分别计算 2010—2019 年渭河干流甘肃段项目层(驱动力、压力、状态、影响和响应)指数,具体结果见表 2。驱动力指数在研究期间呈波动下降趋势,由

2010 年的 0.51 波动下降到 2019 年的 0.43,年均减少率为 1.57%,说明驱动力中的各项指标对渭河干流甘肃段生态安全状况的贡献度在逐年减小。压力指数在研究期间总体呈波动下降趋势。由 2010 年的 0.02 波动下降到 2019 年的 0.01,年均减少率为 5%,可见在研究期间当地不合理的开发利用活动有所减少,对流域生态安全造成的负面影响不断下降,在一定程度上制约了资源浪费和环境恶化,促进了流域的可持续发展;但压力中权重较大的指标对流域生态环境的破坏依旧严重,如化肥施用量、畜禽养殖量、固体废物排放量和农膜使用量等,建议流域积极采用合理的耕作方式和先进的养护技术,尽量减少化肥、农膜的使用,增加有机肥,保持土壤肥力;同时应合理规划当地的畜禽养殖规模,严格禁、限养区管理,减少粪污及生活垃圾等固体废物的排放。

状态指数在研究期间以 2016 年为节点,呈现先波动上升再缓慢下降的趋势:①在 2010—2016 年期间,状态指数由 2010 年的 0.35 波动上升到 2016 年的 0.90,达到最大值,年均增长率为 21.92%,表明该时期内流域积极采取封山育林等措施进行林地养护,提高植被覆盖率,同时不断加强生态治理和修复力度,积极促进水质的改善,从而为渭河干流甘肃段生态安全局面的形成提供保障;②在 2016—2019 年,状态指数由 2016 年的 0.90 减少至 2019 年的 0.76,年均减少率为 3.89%,一定程度上说明在 2016 年后生态环保措施实施效果较不明显,主要原因是措施实施不到位或先前模式已不适用于当前阶段,警示我们必须在保障原有措施的基础上不断创新提高流域生态安全水平的新措施。影响指数整体呈波动下降趋势,由 2010 年的 0.22 下降到 2019 年的 0.09,年均减少率为 5.91%,在一定程度上反映出渭河干流甘肃段人均资源存量状况有所缓解。响应指数在研究期间呈波动上升趋势,由 2010 年的 0.38 波动上升到 2019 年的 0.44,年均增长率为 1.58%,说明流域在研究期间通过增加生态治理资金投入,促使自然保护区面积增加,不断提高了农业用水利用率和城镇污水处理率,加快了渭河流域甘肃段生态安全状况的改善。

表 2 2010—2019 年渭河干流甘肃段项目层(驱动力、压力、状态、影响和响应)指数的变化

项目层指数	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
驱动力指数	0.51	0.25	0.23	0.25	0.39	0.37	0.29	0.41	0.51	0.43
压力指数	0.02	0.03	0.03	0.12	0.07	0.04	0.08	0.08	0.02	0.01
状态指数	0.35	0.52	0.32	0.21	0.51	0.66	0.90	0.71	0.72	0.76
影响指数	0.22	0.33	0.29	0.29	0.37	0.31	0.23	0.21	0.17	0.09
响应指数	0.38	0.29	0.32	0.61	0.20	0.33	0.35	0.38	0.42	0.44

2.2 2010—2019 年渭河干流甘肃段生态安全影响因素分析

利用公式(5)计算得到 2010—2019 年渭河干流甘肃段生态安全指标障碍度(表 3)。由表 3 可知,障碍度数值排在前 5 位的是 X_1 (人口增长率)、 X_2 (经济增长率)、 X_{11} (植被覆盖率)、 X_{19} (城镇污水处理率)、 X_{18} (农业用水利用率),说明人口扩张和经济快速发展是直接影响渭河干流甘肃段生态安全状况发生变化的最主要因素;障碍度数值排在最后 2 位的是 X_9 (畜禽养殖量)、 X_{10} (农膜使用量),主要原因:相较于其他障碍因子而言,研究区的畜禽养殖规模化程度较高且当地的倒茬轮作制度较完善。总的来说,在影响渭河干流甘肃段生态安全状况的前 5 位障碍指标中,驱动力(X_1, X_2)和响应(X_{18}, X_{19})各占两个指标,说明驱动力和响应对渭河干流甘肃段生态安全的影响明显。因此,在今后的发展中,研究区应注重控制人口增长,坚持经济发展和生态文明建设并重,保证经济、政治、文化、生态环境四者的有机统一,进一步推动经济与生态的和谐发展;同时,应加强基础设施建设,关注当地的污水处理和农业用水利用情况,完善居民的排污渠道,推动滴灌、微灌和地面灌等灌水技术的发展。

表 3 2010—2019 年渭河干流甘肃段生态安全指标及障碍度

障碍指标	障碍度/ %	障碍指标	障碍度/ %	障碍指标	障碍度/ %
X_1	18.47	X_8	3.44	X_{15}	3.36
X_2	11.87	X_9	2.27	X_{16}	2.66
X_3	3.16	X_{10}	1.65	X_{17}	2.86
X_4	3.36	X_{11}	6.38	X_{18}	5.14
X_5	3.51	X_{12}	5.03	X_{19}	5.47
X_6	3.26	X_{13}	3.81	X_{20}	4.36
X_7	3.85	X_{14}	3.56	X_{21}	2.56

3 结论

(1) 2010—2019 年,渭河干流甘肃段生态安全综合指数呈先降后升的趋势:先由 2010 年的 0.26 下降到 2011 年的 0.25,再由 2012 年的 0.14 上升到 2019 年的 0.58,其生态安全等级也由Ⅳ(较危险)经Ⅴ(危险)先向Ⅳ(较危险)再向Ⅲ(预警)转变。整体而言,研究区生态安全状况不断变好,尤其是 2015—2019 年呈现稳步变好趋势。

(2) 渭河干流甘肃段生态安全项目层指数变化幅度较小。驱动力、压力和影响指数在研究期间都呈波动下降趋势;状态和响应指数在研究期间呈波动上升趋势,说明渭河干流甘肃段生态安全状况虽得到一定的改善,但未来的生态保护与建设任务依旧艰巨。

(3) 通过障碍度计算得知人口增长率、经济增长率、植被覆盖率、城镇污水处理率和农业用水利用率是影响渭河干流甘肃段生态安全的主要障碍因子。

[参 考 文 献]

- [1] 于天舒,郑拴宁,朱捷缘,等.南水北调中线工程水源南阳市生态安全评价研究[J].生态学报,2021,41(18):7292-7300.
- [2] Quigley T M, Haynes R W, Hann W J. Estimating ecological integrity in the interior Columbia River Basin [J]. Forest Ecology and Management, 2001,153(1/2/3):161-178.
- [3] Décamps H. River networks as biodiversity hotlines [J]. Comptes Rendus Biologies, 2011,334(5/6):420-434.
- [4] Atkins J P, Burdon D, Elliott M, et al. Management of the marine environment: Integrating ecosystem services and societal benefits with the DPSIR framework in a systems approach [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011,62(2):215-226.
- [5] Spanò M, Gentile F, Davies C, et al. The DPSIR framework in support of green infrastructure planning: A case study in Southern Italy [J]. Land Use Policy, 2017,61:242-250.
- [6] 艾克旦·依萨克,满苏尔·沙比提,阿曼妮萨·库尔班,等.阿克苏河流域绿洲生态安全评价及影响因子分析[J].环境科学与技术,2020,43(7):217-223.
- [7] 苏迎庆,刘庚,赵景波,等.2006—2018 年汾河流域土地生态安全预警测度及时空格局演变[J].水土保持通报,2021,41(1):144-151.
- [8] 黄蕊,李巍,韩宇.基于典型案例的流域规划环评管理成效评估[J].中国环境科学,2021,41(7):3409-3417.
- [9] 段锦,康慕谊,江源.东江流域生态系统服务价值变化研究[J].自然资源学报,2012,27(1):90-103.
- [10] Liu Wenfei, Wei Xiaohua, Fan Houbao, et al. Response of flow regimes to deforestation and reforestation in a rain-dominated large watershed of subtropical China [J]. Hydrological Processes, 2015,29(24):5003-5015.
- [11] 孔令桥,张路,郑华,等.长江流域生态系统格局演变及驱动力[J].生态学报,2018,38(3):741-749.
- [12] 刘怡娜,孔令桥,肖焱,等.长江流域景观格局与生态系统水质净化服务的关系[J].生态学报,2019,39(3):844-852.
- [13] 温飞,邵月花,谈存峰.渭河干流甘肃段生态足迹与承载力评价分析[J].环境工程技术学报,2021,11(5):983-991.
- [14] 郭荣中,申海建,杨敏华.基于改进 PSR 模型的长株潭地区土地生态系统健康评价研究[J].环境监测管理技术,2021,33(3):29-34.
- [15] 郭荣中,杨敏华,申海建.长株潭地区耕地生态安全评价研究[J].农业机械学报,2016,47(10):193-201.