

季文光,崔娟敏,成福伟,等. 基于 DPSIR - KRUSKAL 的河北省土地生态安全模糊聚类评价[J]. 江苏农业科学,2022,50(6):186 - 197.
doi:10.15889/j.issn.1002 - 1302.2022.06.031

基于 DPSIR - KRUSKAL 的河北省土地生态安全模糊聚类评价

季文光^{1,2}, 崔娟敏^{1,2}, 成福伟^{1,2}, 张 坤¹, 林永会¹

(1. 河北民族师范学院,河北承德 0670001; 2. 国家民委绿色发展中心,北京 100101)

摘要:采用 DPSIR - KRUSKAL 与模糊聚类分析相结合的方法,对河北省 2010、2012、2014、2016、2018 年 168 个县(市、区)建立土地生态安全 DPSIR 传导与影响框架,运用 CRITIC - 熵权法确立各评价指标的权重,通过 KRUSKAL 进行模糊聚类,计算土地生态安全评价综合值,对不同土地生态安全区进行级别划分。结果表明,2018 年河北省生态安全区(1 级)20 个、生态较安全区(2 级)21 个,生态基本安全区(3 级)67 个,生态临界区(4 级)49 个,生态不安全区(5 级)11 个。2010—2018 年河北省 168 个县(市、区)的土地生态安全状况处于不断转好的趋势,土地生态安全级别不断上升。安全等级 1 级区域增加 13 个,5 级区域减少 51 个。其中,2010—2012 年河北省南部平原区、中东部区、东部部分沿海区包括石家庄、保定、邢台、衡水、邯郸、廊坊、沧州、唐山等市的 62 个县(市、区)处于不安全等级,86 个县(市、区)处于临界安全或基本安全等级;2014 年以后,土地生态安全情况由不安全级别向临界级和基本安全级开始迅速变化,河北省南部平原区、中东部区、东部部分沿海区的土地生态安全等级显著提高,安全、较安全和基本安全等级的县(市、区)明显增加,并出现以北京市、天津市、石家庄市为中心,带动中南部地区城市群和周边县(市、区)土地生态安全等级稳步提升。

关键词:DPSIR - KRUSKAL;土地生态安全;模糊聚类评价;河北省

中图分类号:F323.211 **文献标志码:**A **文章编号:**1002 - 1302(2022)06 - 0186 - 11

国际经济合作与发展组织(OECD)于 1990 年提出广泛应用于生态安全评价研究的“压力 - 状态 - 响应(PSR)”框架模型,1992 年提出概念模型“驱动力 - 状态 - 响应(DSR)”。随后,欧洲环境局(EEA)在 PSR 模型的基础上提出框架模型“驱动力 - 压力 - 状态 - 影响 - 响应(DPSIR)”。黄辉玲等运用物元分析方法,以河北省为例构建土地生态安全评价的综合评判模型^[1]。孙奇奇等对黑龙江省哈尔滨市的土地生态安全利用主成分分析法进行评价^[2]。Nichols 利用澳大利亚河流生物评估系统(AUSRIVAS)对土地生态安全状况进行土地生态安全评价^[3]。杨青等构建生态足迹模型,采用生态足迹法对辽宁省 2003—2012 年土地生态安全状况进行土地生态安全评价^[4]。王鹏等对宁夏回族自治区青铜峡市综合运用 PSR 模型、熵权法和综合指数法等方法对区域土地生态安全状况进行土地生

态安全评价^[5]。由研究发展历程可见,土地生态安全评价方法是在生态安全评价研究的 PSR 框架模型基础上发展起来的。目前多采用 PSR、DPSIR、层次分析法以及生态足迹法,而对于 DPSIR - KRUSKAL 进行土地生态安全评价的研究较少,到目前为止国内外也未见通过 DPSIR - KRUSKAL 方法构建较系统的土地生态安全评价的指标体系。土地生态安全风险评价从早期单一的土地利用变化研究已延伸到时空动态变化和景观结构角度的研究,研究的技术手段也在不断发展,但是基础理论的研究还有待进一步深入,特别是土地生态安全风险评价中不确定性的定量化处理还有待解决。随着土地利用强度持续加大,河北省出现了水土流失、土地沙漠化、土壤污染等许多土地生态问题。土地生态安全已成为区域生态安全研究的重点。为了维护区域土地的生态安全,审视区域生态安全的价值,探索土地生态保护的途径,采用 DPSIR - KRUSKAL 与模糊聚类分析相结合的方法,对河北省 168 个县(市、区)建立土地生态安全区进行级别划分,以期由政府实现自然、经济和社会的生态安全,制定土地生态保护政策和措施提供理论支撑和智力支持。

收稿日期:2021 - 06 - 26

基金项目:河北省社会科学基金(编号:HB20YJ008)。

作者简介:季文光(1977—),男,辽宁沈阳人,博士,副教授,主要从事土地资源与环境研究。E-mail:zhxyjwg@163.com。

1 研究区域概况与研究方法

1.1 研究区域概况

河北省地势西北高、东南低,由西北向东南倾斜。地貌复杂多样,高原、山地、丘陵、盆地、平原类型齐全,有坝上高原、燕山和太行山山地、河北平原三大地貌单元。坝上高原属蒙古高原的一部分,地形南高北低,平均海拔为 1 200 ~ 1 500 m。燕山和太行山山地包括中山山地区、低山山地区、丘陵地区 and 山间盆地 4 种地貌类型,海拔多在 2 000 m 以下。河北平原区是华北大平原的一部分,按其成因可分为山前冲洪积平原区、中部中湖积平原区和滨海平原区 3 种地貌类型。2019 年末,河北省辖 11 个地级市 168 个县(市、区),其中 21 个县级市、47 个市辖区、94 个县、6 个自治县。农用地面积为 13.06 万 km²,其中耕地 6.52 万 km²,园地 0.83 万 km²,林地 4.59 万 km²,牧草地 0.40 万 km²,其他农用地 0.72 万 km²;建设用地 2.26 万 km²,含城镇村及工矿用地 1.96 万 km²。常住总人口 7 556.30 万人。生产总值实现 35 104.50 亿元,其中第一产业增加 3 518.40 亿元,第二产业增加 13 597.3 亿元,第三产业增加 17 988.8 亿元。三次产业增加值比例由 2018 年的 10.3 : 39.7 : 50.0 调整为 10.0 : 38.7 : 51.3,全省人均生产总值为

46 348 元。

1.2 数据来源

研究数据主要来自《河北统计年鉴(2010—2018 年)》《河北经济年鉴(2010—2018 年)》,河北省 11 个地市的《统计年鉴(2010—2018 年)》《河北农村统计年鉴(2010—2018 年)》,河北省 168 个县(市、区)的《统计年鉴(2010—2018 年)》,各县(市、区)的《国民经济和社会发展统计公报(2010—2018 年)》等^[6-8]。

1.3 研究方法

1.3.1 评价指标体系构建及权重确定

1.3.1.1 评价指标体系构建 从土地生态驱动力、压力、状态、影响和响应等 5 个方面选取指标建立土地生态安全 DPSIR 传导与影响框架。土地社会生态(D)、土地经济生态(P)、土地自然生态(S)、土地环境生态(I)、土地利用生态(R)^[9]等 5 个模块形成完整的系统模型,通过影响和传导路径相互联系^[10]。同时,通过测度路径(产生、传递、压力、消除、缓解、满足、改善、影响)关联关系和均衡状态,建立土地生态安全风险评价指标体系^[11]。以调研结果作为评估依据,由 5 类影响因素组成多层次、相互联系密切的评价指标体系,每个因素下又包含若干个指标和因子(图 1)。

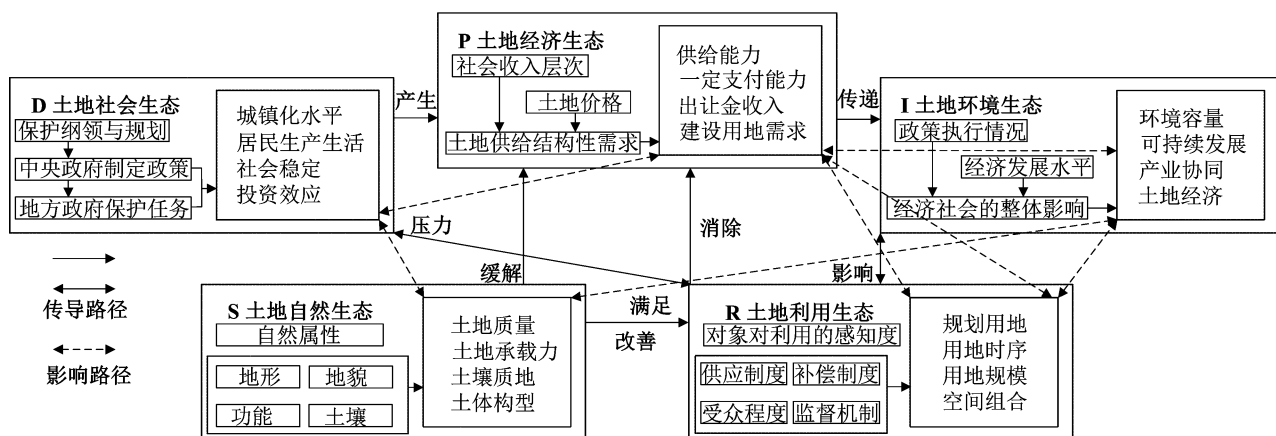


图1 土地生态安全 DPSIR 传导与影响框架

1.3.1.2 权重确定 分析土地生态安全 DPSIR 传导体系,按各县(市、区)单元范围内土地社会生态、土地经济生态、土地自然生态、土地环境生态、土地利用生态 5 个评价因素共计 23 个二级指标(表 1)进行分析,运用 CRITIC - 熵权法确定各项指标权重。

CRITIC 法权重计算公式为

$$w_j^1 = \frac{\sigma_j^i \sum_{i=1}^m (1 - s_{ij})}{\sum_{j=1}^n \sigma_j^i \sum_{i=1}^m (1 - s_{ij})}$$

式中: w_j^1 表示指标 j 的权重值; σ_j^i 表示指标 j 的标准差; s_{ij} 表示 i 与 j 的相关系数。

熵值计算公式为

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_i^m (Q_{ij} \times \ln Q_{ij})。$$

式中： e_j 表示指标 j 的熵值； Q_{ij} 表示第 j 个指标下第 i 个被评价对象 x_{ij} 所占比重， $Q_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}。$

CRITIC 法缺少对指标离散关系的反映，将其和熵权法相结合，能综合分析出各指标的对比程度、离散程度和相关程度，结合 2 种评价方法的优点，得

出相对精确度更高的权重值，进行客观的赋权^[12]。
CRITIC 法和熵权法结合后 (CRITIC - 熵权法) 权重计算公式为

$$w_j = \frac{(\sigma_j + e_j) \sum_{i=1}^n (1 - s_{ij})}{\sum_{j=1}^m (\sigma_j + e_j) \sum_{i=1}^n (1 - s_{ij})}。$$

式中： w_j 表示指标 j 的权重值^[13-14]。

表 1 河北省土地生态安全模糊聚类评价指标体系及权重

评价目标	评价因素	评价指标	权重					综合效应
			2010 年	2012 年	2014 年	2016 年	2018 年	
河北省土地生态安全模糊聚类评价 A	土地社会生态 A1	城镇化率 A11(%)	0.024	0.026	0.030	0.035	0.037	+
		人均地区生产总值 A12(元/人)	0.062	0.066	0.068	0.070	0.072	+
		失业率 A13(%)	0.021	0.015	0.013	0.012	0.012	-
		GDP 增长率(比上一年) A14(%)	0.022	0.028	0.028	0.031	0.030	+
	土地经济生态 A2	地均产值 A21(元/hm ²)	0.054	0.058	0.056	0.059	0.061	+
		农业产值/非农业产值 A22(%)	0.037	0.039	0.038	0.036	0.036	+
		城镇居民恩格尔系数 A23(%)	0.036	0.038	0.035	0.040	0.042	+
		人口密度 A24(人/km ²)	0.021	0.020	0.022	0.023	0.020	+
	土地自然生态 A3	农药、化肥负荷 A25(kg/hm ²)	0.011	0.014	0.013	0.011	0.010	-
		耕地面积比重 A31(%)	0.043	0.046	0.049	0.050	0.052	+
		土地垦殖系数 A32(%)	0.031	0.033	0.037	0.039	0.042	+
		森林覆盖率 A33(%)	0.052	0.058	0.056	0.048	0.042	+
	土地环境生态 A4	耕地复种指数 A34(%)	0.054	0.059	0.055	0.052	0.050	+
		灌溉保证率 A35(%)	0.039	0.041	0.042	0.039	0.037	+
		生态环境容量 A41(×10 ⁻⁶)	0.082	0.083	0.088	0.087	0.089	+
		单位面积粮食产量 A42(kg/hm ²)	0.043	0.045	0.046	0.048	0.050	+
	土地利用生态 A5	农村人均纯收入 A43(元)	0.025	0.022	0.020	0.022	0.018	+
		一、二产业产值比例 A44(%)	0.034	0.032	0.030	0.035	0.037	+
		土地经济密度 A45(元/hm ²)	0.061	0.060	0.058	0.058	0.062	+
		土地集约利用率 A51(%)	0.078	0.072	0.076	0.073	0.073	+
		土地开发强度 A52(%)	0.065	0.051	0.054	0.049	0.045	-
		当年造林面积 A53(hm ²)	0.058	0.054	0.049	0.047	0.054	+
		工业固废综合利用率 A54(%)	0.042	0.040	0.037	0.036	0.029	+

注：“+”表示正向安全趋势指标；“-”表示负向安全趋势指标。

1.3.2 构建模糊聚类矩阵 选择合适的统计量 x_{ij} ，将被分类对象集合为 $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$ ，因为每个样本 x_i 均含有 m 个特征指标，因此其特征指标矩阵如下^[15]：

$$\mathbf{X} = \begin{Bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{Bmatrix}。$$

利用绝对值倒数法构造出 n 行 n 列的相似矩阵 \mathbf{R} ，公式如下：

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & i=j \\ \frac{c}{\sum_{k=1}^m |S_{ik} - S_{jk}|} & i \neq j \end{cases}。$$

其中： r_{ij} ($i=1, \cdots, n; j=1, \cdots, n$) 为相似矩阵 \mathbf{R} 的第 i 行第 j 列元素； c 表示一特定的正数，用以保证 $0 \leq r_{ij} \leq 1$ ^[16-18]。由所有的相似系数 r_{ij} 得出达到单元之间的模糊相似矩阵 \mathbf{R}_{mm} 为

$$\mathbf{R} = \begin{Bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mm} \end{Bmatrix}。$$

$\{0.000, 0.400\}$ 、 $\{0.400, 0.600\}$ 、 $\{0.600, 0.800\}$ 、 $\{0.800, 0.900\}$ 、 $\{0.900, 1.000\}$ 。然后分别将连接线截断并进行聚类,最终得到 168 个县(市、区)的 5 个土地安全等级:既 $\lambda \in \{0.900, 1.000\}$ 为安全,等级为 1 级; $\lambda \in \{0.800, 0.900\}$ 为较安全,等级为 2 级; $\lambda \in \{0.600, 0.800\}$ 为基本安全,等级为 3 级; $\lambda \in \{0.400, 0.600\}$ 为临界安全,等级为 4 级; $\lambda \in \{0.000, 0.400\}$ 为不安全,等级为 5 级。

2 结果与分析

通过对河北省 168 个县(市、区)建立土地生态安全 DPSIR 传导与影响框架,分析确定指标体系,整理 2010—2018 年河北省各项指标的相关基础数据,运用 KRUSKAL 进行模糊聚类,对不同土地生态安全区进行级别划分,得出 2010—2018 年河北省土地生态安全评价综合值(表 2)。

2.1 土地生态安全变化分析

2.1.1 土地生态安全时间变化分析 由表 2 可知,2010—2018 年河北省各县(市、区)的土地生态安全状况处于不断转好的趋势。2010 年各县(市、区)的土地生态安全综合值(λ 值)为 0.231 ~ 0.931,最大值为怀安县,最小值为井陉县。2012 年各县(市、区)的土地生态安全综合值(λ 值)为 0.277 ~ 0.956,最大值为围场县,最小值为井陉县。2014 年各县(市、区)的土地生态安全综合值(λ 值)为 0.343 ~ 0.978,最大值为围场县,最小值为井陉县。2016 年各县(市、区)的土地生态安全综合值(λ 值)为 0.368 ~ 0.985,最大值为围场县,最小值为孟村县。2018 年各县(市、区)的土地生态安全综合值(λ 值)为 0.389 ~ 0.988,最大值为围场县和沽源县,最小值为武强县。

由图 3 可知,2010—2018 年河北省各县(市、区)的土地生态安全级别不断上升。2010 年安全等级为 1 级的有 7 个,安全等级为 2 级的有 13 个,安全等级为 3 级的有 20 个,安全等级为 4 级的有 66 个,安全等级为 5 级的有 62 个。2012 年安全等级为 1 级的有 7 个,安全等级为 2 级的有 13 个,安全等级为 3 级的有 20 个,安全等级为 4 级的有 66 个,安全等级为 5 级的有 62 个。2014 年安全等级为 1 级的有 7 个,安全等级为 2 级的有 13 个,安全等级为 3 级的有 20 个,安全等级为 4 级的有 66 个,安全等级为 5 级的有 62 个。2016 年安全等级为 1 级的有 17 个,安全等级为 2 级的有 15 个,安全等级为 3

级的有 53 个,安全等级为 4 级的有 66 个,安全等级为 5 级的有 17 个。2018 年安全等级为 1 级的有 20 个,安全等级为 2 级的有 21 个,安全等级为 3 级的有 67 个,安全等级为 4 级的有 49 个,安全等级为 5 级的有 11 个(均不计井陉县矿区)。2010—2018 年安全等级 1 级区域增加 13 个,5 级区域减少 51 个。

2.1.2 土地生态安全空间差异分析 河北省土地生态安全空间变化特征采用土地生态安全等级的县域数量统计结果与 2010—2018 年各时期土地生态安全空间分布结果进行分析(图 4)。

2010—2012 年河北省南部平原区、中东部区、东部部分沿海区包括石家庄、保定、邢台、衡水、邯郸、廊坊、沧州、唐山等市的 62 个县(市、区)处于不安全等级,86 个县(市、区)处于临界安全或基本安全等级,河北省北部燕山区、南部太行山区、东部部分沿海城市包括承德、张家口、秦皇岛等市的 20 个县(市、区)处于较安全或安全等级。2016 年河北省南部平原区、中东部区、东部部分沿海区 16 个县(市、区)处于不安全等级,121 个县(市、区)处于临界安全或基本安全等级,河北省北部燕山区、南部太行山区、东部部分沿海城市、部分南部平原区、中东部区的 31 个县(市、区)处于较安全或安全等级。2018 年河北省南部平原区、中东部区、东部部分沿海区 11 个县(市、区)处于不安全等级,116 个县(市、区)处于临界安全或基本安全等级,河北省全省范围内的 41 个县(市、区)处于较安全或安全等级。总的看来,2010—2014 年河北省土地生态安全空间变化特征不显著,张家口、承德、秦皇岛等市的县(市、区)处于安全等级;2014 年以后河北省南部平原区、中东部区、东部部分沿海区的土地生态安全等级显著提高,安全、较安全和基本安全等级的县(市、区)明显增加,并出现以北京市、天津市、石家庄市为中心,带动中南部地区城市群和周边县(市、区)安全等级稳步提升。

2.2 土地生态安全影响因素分析

2010—2014 年河北省土地生态安全状况总体上处于不安全级别,这与人们的环保意识淡薄,无止境地开发自然资源来发展经济,不顾污染环境和浪费土地的危害关系密切。特别是一些矿山的过度开采,造成河北省土地生态系统出现严重的破坏,生态效益状况日益恶化,土地生态系统受到非常严重的破坏,逐渐失去部分服务能力。2014 年以后土地生态安全情况由不安全级别向临界级和基

表 2 2010—2018 年河北省土地生态安全评价综合值(λ 值)及安全等级

县 (市、区)	县 (市、区)						县 (市、区)					
	指标	2010 年	2012 年	2014 年	2016 年	2018 年	指标	2010 年	2012 年	2014 年	2016 年	2018 年
长安区	λ 值	0.375	0.378	0.372	0.425	0.685	鹿泉区	λ 值	0.433	0.42	0.531	0.698
	安全等级	5	5	5	4	3		安全等级	4	4	4	3
桥西区	λ 值	0.327	0.312	0.363	0.402	0.611	栾城区	λ 值	0.412	0.407	0.534	0.614
	安全等级	5	5	5	4	3		安全等级	4	4	4	3
石家庄	λ 值	0.305	0.331	0.374	0.433	0.689	辛集市	λ 值	0.430	0.489	0.435	0.522
	安全等级	5	5	5	4	3		安全等级	4	4	4	4
新华区	λ 值	0.231	0.277	0.343	0.376	0.398	晋州市	λ 值	0.448	0.426	0.501	0.563
	安全等级	5	5	5	5	5		安全等级	4	4	4	4
井陘县	λ 值	0.322	0.376	0.389	0.446	0.701	新乐市	λ 值	0.413	0.431	0.479	0.512
	安全等级	5	5	5	4	3		安全等级	4	4	4	4
矿区	λ 值	0.311	0.324	0.389	0.472	0.569	井陘县	λ 值	0.245	0.321	0.374	0.392
	安全等级	5	5	5	4	4		安全等级	5	5	5	5
裕华区	λ 值	0.289	0.361	0.374	0.485	0.526	古冶区	λ 值	0.496	0.482	0.574	0.698
	安全等级	5	5	5	4	4		安全等级	4	4	3	3
藁城区	λ 值	0.476	0.439	0.564	0.643	0.717	开平区	λ 值	0.501	0.478	0.569	0.682
	安全等级	4	4	4	3	3		安全等级	4	4	3	3
无极县	λ 值	0.344	0.322	0.36	0.467	0.498	丰南区	λ 值	0.433	0.467	0.574	0.675
	安全等级	5	5	5	4	4		安全等级	4	4	3	3
平山县	λ 值	0.674	0.643	0.689	0.768	0.821	丰润区	λ 值	0.501	0.490	0.568	0.642
	安全等级	3	3	3	3	2		安全等级	4	4	4	3
元氏县	λ 值	0.656	0.645	0.687	0.735	0.813	曹妃甸	λ 值	0.509	0.542	0.674	0.769
	安全等级	3	3	3	3	2		安全等级	4	3	3	2
赵县	λ 值	0.723	0.745	0.766	0.846	0.873	遵化市	λ 值	0.642	0.631	0.769	0.815
	安全等级	3	3	3	2	2		安全等级	3	3	2	2
路南区	λ 值	0.749	0.769	0.779	0.799	0.856	青龙县	λ 值	0.911	0.924	0.925	0.931
	安全等级	3	3	3	3	2		安全等级	1	1	1	1
路北区	λ 值	0.435	0.431	0.546	0.627	0.741	邯山区	λ 值	0.565	0.542	0.574	0.649
	安全等级	4	4	4	3	3		安全等级	4	4	4	3
海港區	λ 值	0.376	0.351	0.389	0.468	0.597	武安市	λ 值	0.426	0.429	0.498	0.549
	安全等级	5	5	5	4	4		安全等级	4	4	4	3
山海关	λ 值	0.333	0.341	0.388	0.389	0.498	正定县	λ 值	0.333	0.341	0.388	0.389
	安全等级	5	5	5	5	4		安全等级	5	5	5	4
行唐县	λ 值	0.338	0.351	0.379	0.399	0.501	高邑县	λ 值	0.346	0.387	0.396	0.459
	安全等级	5	5	5	5	4		安全等级	5	5	5	4
灵寿县	λ 值	0.326	0.345	0.379	0.399	0.501	深泽县	λ 值	0.333	0.341	0.388	0.389
	安全等级	5	5	5	5	4		安全等级	5	5	5	4
赞皇县	λ 值	0.338	0.356	0.367	0.475	0.526	迁安市	λ 值	0.645	0.676	0.756	0.824
	安全等级	5	5	5	4	4		安全等级	3	3	3	2
迁安市	λ 值	0.687	0.666	0.698	0.745	0.814	滦州市	λ 值	0.689	0.721	0.744	0.826
	安全等级	3	3	3	3	2		安全等级	3	3	3	2
滦南县	λ 值	0.465	0.521	0.536	0.549	0.678	乐亭县	λ 值	0.625	0.674	0.768	0.846
	安全等级	4	4	4	4	3		安全等级	3	3	3	2
乐亭县	λ 值	0.625	0.674	0.768	0.846	0.886	迁西县	λ 值	0.468	0.499	0.584	0.645
	安全等级	3	3	3	2	2		安全等级	4	4	4	3
玉田县	λ 值	0.456	0.421	0.546	0.674	0.689	永年区	λ 值	0.426	0.429	0.498	0.549
	安全等级	4	4	4	3	3		安全等级	4	4	4	3
永年区	λ 值	0.426	0.429	0.498	0.549	0.677	武安市	λ 值	0.426	0.429	0.498	0.549
	安全等级	4	4	4	4	3		安全等级	4	4	4	3

表 2(续)

县 (市、区)	县 指标					县 指标					县 指标				
	2010 年	2012 年	2014 年	2016 年	2018 年	2010 年	2012 年	2014 年	2016 年	2018 年	2010 年	2012 年	2014 年	2016 年	2018 年
县 (市、区)	县 指标					县 指标					县 指标				
	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值
北戴河	0.846	0.837	0.898	0.924	0.935	安全等级	2	2	2	1	安全等级	4	4	3	3
抚宁区	0.831	0.874	0.868	0.798	0.912	安全等级	2	2	3	1	安全等级	4	4	3	3
昌黎县	0.842	0.811	0.865	0.903	0.946	安全等级	2	2	1	1	安全等级	4	4	4	3
卢龙县	0.927	0.914	0.935	0.937	0.943	安全等级	1	1	1	1	安全等级	4	4	4	3
磁县	0.496	0.501	0.542	0.647	0.655	安全等级	4	4	3	3	安全等级	4	4	3	3
邱县	0.442	0.489	0.481	0.535	0.675	安全等级	4	4	4	4	安全等级	4	4	4	3
鸡泽县	0.477	0.522	0.565	0.650	0.667	安全等级	4	4	3	3	安全等级	4	4	3	2
广平县	0.365	0.332	0.368	0.469	0.498	安全等级	5	5	4	4	安全等级	5	5	4	4
馆陶县	0.331	0.354	0.387	0.444	0.493	安全等级	5	5	4	4	安全等级	5	5	4	4
魏县	0.462	0.415	0.507	0.624	0.679	安全等级	4	4	3	3	安全等级	4	4	3	3
宁晋县	0.386	0.364	0.397	0.496	0.524	安全等级	5	5	4	4	安全等级	5	5	4	4
巨鹿县	0.476	0.462	0.526	0.647	0.687	安全等级	4	4	3	3	安全等级	5	5	4	4
新河县	0.443	0.412	0.509	0.611	0.672	安全等级	4	4	3	3	安全等级	5	5	4	4
广宗县	0.463	0.411	0.498	0.532	0.627	安全等级	4	4	3	3	安全等级	5	5	4	4
县 (市、区)	县 指标					县 指标					县 指标				
	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值	λ 值
临漳县	0.465	0.476	0.568	0.697	0.705	安全等级	4	4	4	3	安全等级	4	4	3	3
成安县	0.444	0.420	0.560	0.670	0.701	安全等级	4	4	3	3	安全等级	4	4	3	3
大名县	0.468	0.421	0.524	0.567	0.689	安全等级	4	4	4	4	安全等级	4	4	4	3
涉县	0.444	0.411	0.561	0.628	0.712	安全等级	4	4	3	3	安全等级	4	4	3	3
临城县	0.456	0.417	0.549	0.643	0.679	安全等级	4	4	3	3	安全等级	4	4	3	3
内丘县	0.689	0.654	0.701	0.765	0.824	安全等级	3	3	3	2	安全等级	3	3	3	2
柏乡县	0.324	0.345	0.368	0.469	0.499	安全等级	5	5	4	4	安全等级	5	5	4	4
隆尧县	0.354	0.361	0.367	0.481	0.497	安全等级	5	5	4	4	安全等级	5	5	4	4
任县	0.468	0.487	0.529	0.645	0.688	安全等级	4	4	3	3	安全等级	4	4	3	3
南和县	0.346	0.326	0.389	0.487	0.498	安全等级	5	5	4	4	安全等级	5	5	4	4
徐水区	0.311	0.345	0.376	0.388	0.498	安全等级	5	5	4	4	安全等级	5	5	4	4
涿州市	0.356	0.346	0.389	0.456	0.521	安全等级	5	5	4	4	安全等级	5	5	4	4
定州市	0.344	0.333	0.380	0.390	0.488	安全等级	5	5	4	4	安全等级	5	5	4	4
安国市	0.311	0.309	0.356	0.495	0.511	安全等级	5	5	4	4	安全等级	5	5	4	4

表 2(续)

县 (市、区)						县 (市、区)						县 (市、区)																																																																	
指标			2010 年			2012 年			2014 年			2016 年			2018 年			指标			2010 年			2012 年			2014 年			2016 年			2018 年																																												
λ 值			0.498			0.456			0.529			0.643			0.701			λ 值			0.344			0.361			0.355			0.476			0.504																																												
平乡县						安全等级						4						4						4						5						5						4						4																													
威县						λ 值						0.424						0.440						0.512						0.525						0.649						λ 值						0.453						0.413						0.546						0.648						0.698					
安全等级						4						4						4						3						安全等级						4						4						4						3						3																	
阜平县						λ 值						0.521						0.535						0.567						0.674						0.756						λ 值						0.472						0.417						0.568						0.674						0.721					
安全等级						4						4						4						3						安全等级						4						4						4						3						3																	
定兴县						λ 值						0.468						0.521						0.536						0.578						0.619						λ 值						0.439						0.468						0.544						0.677						0.723					
安全等级						4						4						4						4						安全等级						4						4						4						3						3																	
唐县						λ 值						0.461						0.476						0.591						0.674						0.72						λ 值						0.689						0.698						0.724						0.845						0.868					
安全等级						4						4						4						3						安全等级						3						3						3						2						2																	
高阳县						λ 值						0.487						0.532						0.564						0.666						0.741						λ 值						0.666						0.649						0.745						0.598						0.888					
安全等级						4						4						4						3						安全等级						3						3						3						4						4						2											
谷城县						λ 值						0.464						0.421						0.496						0.508						0.688						λ 值						0.745						0.721						0.779						0.842						0.864					
安全等级						4						4						4						4						安全等级						3						3						3						2						2																	
涿源县						λ 值						0.521						0.502						0.645						0.722						0.769						λ 值						0.689						0.711						0.724						0.599						0.827					
安全等级						4						4						3						3						安全等级						3						3						3						4						4						2											
万全区						λ 值						0.654						0.623						0.754						0.821						0.845						λ 值						0.820						0.851						0.864						0.877						0.898					
安全等级						3						3						3						2						安全等级						2						2						2						2						2																	
崇礼区						λ 值						0.689						0.756						0.789						0.912						0.931						λ 值						0.586						0.584						0.592						0.597						0.724					
安全等级						3						3						3						1						安全等级						4						4						4						4						3																	
张北县						λ 值						0.865						0.801						0.868						0.894						0.911						λ 值						0.376						0.385						0.398						0.526						0.72					
安全等级						2						2						2						2						安全等级						5						5						5						4						3																	
康保县						λ 值						0.866						0.895						0.894						0.914						0.946						λ 值						0.745						0.733						0.746						0.845						0.869					
安全等级						2						2						2						1						安全等级						3						3						3						2						2																	
沽源县						λ 值						0.842						0.831						0.877						0.898						0.988						λ 值						0.744						0.766						0.787						0.796						0.865					
安全等级						2						2						2						2						安全等级						3						3						3						3						2						2											
尚义县						λ 值						0.875						0.846						0.888						0.924						0.956						λ 值						0.902						0.931						0.946						0.975						0.976					
安全等级						2						2						2						1						安全等级						1						1						1						1						1						1											

表 2(续)

县 (市、区)						县 (市、区)						县 (市、区)																																																																	
指标			2010 年			2012 年			2014 年			2016 年			2018 年			指标			2010 年			2012 年			2014 年			2016 年			2018 年																																												
λ 值			0.745			0.721			0.789			0.846			0.898			λ 值			0.376			0.321			0.359			0.476			0.520																																												
滦平县						安全等级						3						3						2						安全等级						5						5						4						4																							
隆化县						λ 值						0.724						0.756						0.768						0.834						0.886						λ 值						0.356						0.341						0.389						0.497						0.501					
安全等级						3						3						3						2						安全等级						5						5						5						4						4																	
丰宁县						λ 值						0.843						0.865						0.898						0.924						0.936						λ 值						0.333						0.360						0.389						0.467						0.488					
安全等级						2						2						2						1						安全等级						5						5						5						4						4																	
宽城县						λ 值						0.833						0.864						0.887						0.910						0.935						λ 值						0.465						0.489						0.502						0.611						0.637					
安全等级						2						2						2						1						安全等级						4						4						4						3						3																	
围场县						λ 值						0.924						0.956						0.978						0.985						0.988						λ 值						0.327						0.339						0.386						0.459						0.498					
安全等级						1						1						1						1						安全等级						5						5						5						4						4																	
沧州市						λ 值						0.468						0.476						0.526						0.643						0.685						λ 值						0.363						0.311						0.386						0.456						0.479					
安全等级						4						4						4						3						安全等级						5						5						5						4						4																	
新华区						λ 值						0.326						0.351						0.368						0.429						0.488						λ 值						0.426						0.435						0.524						0.641						0.653					
吴桥县						安全等级						5						5						5						4						安全等级						4						4						4						3						3											
献县						λ 值						0.344						0.321						0.365						0.426						0.469						λ 值						0.436						0.475						0.489						0.564						0.675					
安全等级						5						5						5						4						安全等级						4						4						4						4						3						3											
孟村县						λ 值						0.322						0.333						0.356						0.368						0.399						λ 值						0.326						0.356						0.378						0.389						0.397					
安全等级						5						5						5						5						安全等级						5						5						5						5						5																	
安次区						λ 值						0.465						0.432						0.498						0.611						0.685						λ 值						0.456						0.423						0.549						0.654						0.687					
安全等级						4						4						4						3						安全等级						4						4						4						3						3																	
广阳区						λ 值						0.346						0.321						0.398						0.465						0.502						λ 值						0.326						0.368						0.374						0.388						0.395					
安全等级						5						5						5						4						安全等级						5						5						5						5						5																	
霸州市						λ 值						0.289						0.307						0.356						0.378						0.398						λ 值						0.456						0.439						0.548						0.649						0.701					
安全等级						5						5						5						5						安全等级						4						4						4						3						3																	
武强县						λ 值						0.345						0.325						0.368						0.379						0.389						λ 值						0.346						0.358						0.397						0.426						0.489					
安全等级						5						5						5						5						安全等级						5						5						5						4						4																	
饶阳县						λ 值						0.321						0.302						0.358						0.369						0.397						λ 值						0.365						0.346						0.389						0.482						0.501					
安全等级						5						5						5						5						安全等级						5						5						5						5						4						4											

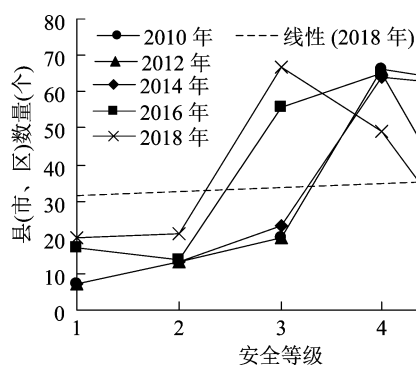


图3 2010—2018 年河北省各县(市、区)土地生态安全等级

本安全级开始迅速变化,生态效益状况逐步改善,土地生态系统功能开始逐渐恢复。这与国家施行的退耕还林、土地安全治理工作有直接关系。今后人们要更加重视土地生态保护政策的连续性,关注土地生态保护潜在的长期性问题,提高对土地生态安全重要性的认识。协同京津区域针对土地生态容量变化制定动态的土地生态保护政策,科学编制土地生态保护规划,对工业“三废”做好治理,做好耕地数量、质量的管理控制,提高土地资源的保护。注重土地资源利用和生态建设,统筹安排年度土地

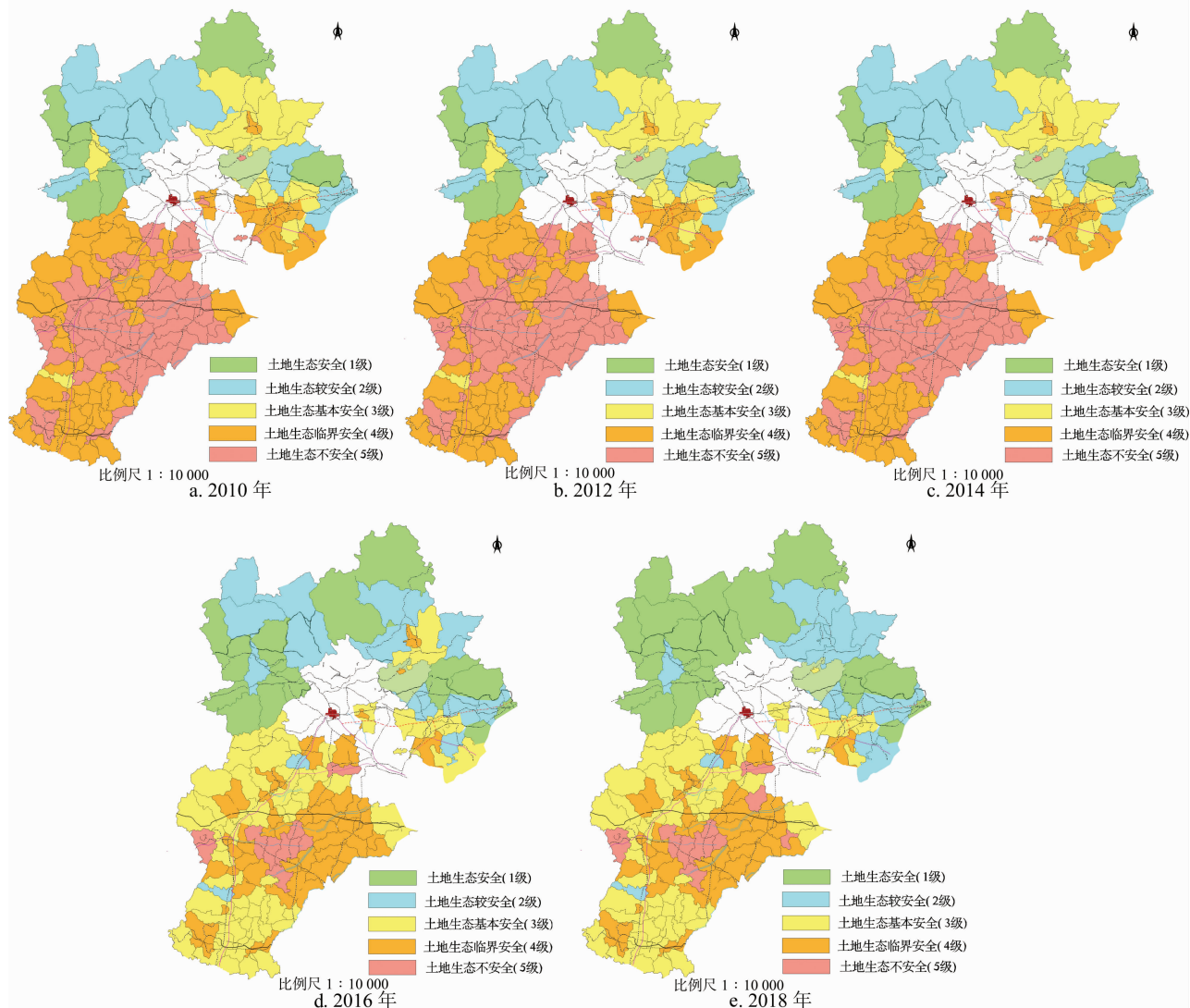


图4 2010—2018 年河北省各县(市、区)土地生态安全空间分布

生态保护任务,切实加强制度的完善和监督,关注土地生态破坏后修复的后期管理,建立相应的评价机制,建立畅通的反馈渠道,土地资源利用规划和设计要重视生态保护的意見和要求,这些都应成为河北省土地生态建设工作今后发展的重点。

3 结论与讨论

采用 DPSIR - KRUSKAL 与模糊聚类分析相结合的方法,对河北省 168 个县(市、区)建立土地生态安全 DPSIR 传导与影响框架,并运用 KRUSKAL

进行模糊聚类,对不同土地生态安全区进行级别划分。计算河北省各县(市、区)的土地生态安全综合分值(λ 值),可以减少人为主观因素的干扰,通过对比已有研究成果,发现与本研究成果^[25-27]相一致,充分证明基于 DPSIR - KRUSKAL 的土地生态安全模糊聚类评价方法具有可靠性与实用性。在研究土地生态安全综合分值的基础上,通过土地生态安全变化及土地生态安全影响因素分析可知,2010—2018 年河北省 168 个县(市、区)的土地生态安全状况处于不断转好的趋势,土地生态安全级别不断上升。安全等级为 1 级的区域增加了 13 个,5 级区域减少了 51 个。其中,2010—2012 年河北省南部平原区、中东部区、东部部分沿海区包括石家庄、保定、邢台、衡水、邯郸、廊坊、沧州、唐山等市的 62 个县(市、区)处于不安全等级,86 个县(市、区)处于临界安全或基本安全等级。2014 年以后,土地生态安全情况由不安全级别向临界级和基本安全级开始迅速变化,河北省南部平原区、中东部区、东部部分沿海区的土地生态安全等级显著提高,安全、较安全和基本安全等级的县(市、区)明显增加,并出现以北京、天津、石家庄等市为中心,带动中南部地区城市群和周边县(市、区)安全等级稳步提升,主要原因是国家实施退耕还林、土地安全治理工作取得显著成效。

通过 DPSIR 进行土地生态安全风险评价体系构建,对数据要求严格。需要在分析土地生态安全风险的形成机制和机理的基础上,找到土地生态安全风险相关影响因素,并对影响因素进行全面系统的甄别和取舍。各目标模块的构建要通过影响和传导路径联系,形成完整的模型。运用 CRITIC - 熵权法确立各评价指标的权重,能综合分析出各指标的对比程度、离散程度和相关程度,得出相对精确度更高的权重值,作出客观的赋权。通过 KRUSKAL 进行模糊聚类,计算土地生态安全评价综合值,对不同土地生态安全区进行级别划分。可以延伸和丰富土地生态安全风险评价方法,深化和扩充土地生态安全风险的研究内容,为研究区域土地生态安全风险评价提供新的思路和方法。该方法借鉴生态环境评估领域的相关模型和技术,准确计算带有普适性特征的评价模型中因素的定量关联性程度,特别是测度路径关联关系和均衡状态。是对目前采用 PSR、DPSIR、层次分析法以及生态足迹法的有效补充。此外,土地生态安全风险评价涉及影响因

素内在关联性的研究也具有一定的原始创新性。已有研究成果充分证明了基于 DPSIR - KRUSKAL 的土地生态安全模糊聚类评价方法的可靠性与实用性。土地生态安全风险评价是在一定时期某个区域内的人类土地利用活动对环境、生态及生态系统的影响过程与效应。在土地生态安全评价研究中应将土地生态安全评价和环境预测、预警有机结合,同时考虑景观生态方法在评价中的应用,这也应该成为今后研究关注的方向。

参考文献:

- [1] 黄辉玲,罗文斌,吴次芳,等. 基于物元分析的土地生态安全评价[J]. 农业工程学报,2010,26(3):316-322.
- [2] 孙奇奇,宋戈,齐美玲. 基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2012,19(1):234-238.
- [3] Nichols S J, Dyer F J. Contribution of national bioassessment approaches for assessing ecological water security: An AUSRIVAS case study[J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2013,7(5):669-687.
- [4] 杨青,逯承鹏,周锋,等. 基于能值-生态足迹模型的东北老工业基地生态安全评价——以辽宁省为例[J]. 应用生态学报,2016,27(5):1594-1602.
- [5] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等. 基于 PSR 模型的青铜峡市土地生态安全评价与预测[J]. 水土保持通报,2018,38(2):148-153,159.
- [6] 李昊,李世平,银敏华. 中国土地生态安全研究进展与展望[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(9):50-56.
- [7] 李春燕,南灵. 陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J]. 中国土地科学,2015,29(4):72-81.
- [8] 王磊,郭灿,李慧明. 基于 PSR - TOPSIS 模型的宁夏回族自治区土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2016,23(6):154-159.
- [9] 何新,姜广辉,张瑞娟,等. 基于 PSR 模型的土地生态系统健康时空变化分析——以北京市平谷区为例[J]. 自然资源学报,2015,30(12):2057-2068.
- [10] 张成,黄芳芳,尚国琲. 土地生态安全预警系统设计与实现[J]. 中国生态农业学报(中英文),2020,28(6):931-944.
- [11] 熊建华. 土地生态安全评价研究回顾、难点与思考[J]. 地理与地理信息科学,2018,34(6):71-76.
- [12] 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.
- [13] 刘娇,张超,孙晓莉,等. 基于 DPSIR 模型的云南省土地生态安全评价[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2021,41(3):113-121.
- [14] 张成,尚国琲,黄芳芳,等. 基于 MATLAB GUI 的生态压力预警系统设计与实现[J]. 环境科学与技术,2016,39(5):200-205.
- [15] Chuang Y H, Yu R F, Chen W Y, et al. Sustainable planning for a coastal wetland system with an integrated ANP and DPSIR model for conflict resolution[J]. Wetlands Ecology and Management, 2018, 26(6):1015-1036.

朱 艳,肖清波,叶小梅,等. 细菌纤维素/壳聚糖/聚丙烯酰胺光热膜的抑菌性[J]. 江苏农业科学,2022,50(6):197-201.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.06.032

细菌纤维素/壳聚糖/聚丙烯酰胺光热膜的抑菌性

朱 艳^{1,2},肖清波²,叶小梅^{1,2},张曼秋^{1,2},孔祥平²,奚永兰²

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院,江苏南京 210095; 2. 江苏省农业科学院循环农业研究中心,江苏南京 210014)

摘要:选用细菌纤维素(BC)水凝胶作为光热膜基底材料,利用壳聚糖(Chi)及聚丙烯酰胺(PAM)中氨基等基团的抑菌作用来增强其抗污染性能。通过对大肠杆菌抑菌圈、生长曲线的分析,以及沼液混合菌生长情况的观察,发现 BC 膜中壳聚糖和聚丙烯酰胺的加入对微生物的生长有明显的抑制作用。大肠杆菌抑菌圈试验表明,BC/Chi/PAM 光热膜对大肠杆菌有明显的抑制效果,抑菌圈达到 5.0 mm,远高于 BC 膜的 0.5 mm 抑菌圈。添加不同光热膜与沼液共培养发现,添加 BC/Chi/PAM 光热膜对细菌生长有显著抑制作用,生物量比添加 BC 膜的处理少 53%;而添加 PAM 的复合膜对沼液真菌的抑制效果显著,BC/PAM 膜与 BC/Chi/PAM 膜真菌生物量显著少于 BC 膜。

关键词:细菌纤维素;光热膜;壳聚糖;聚丙烯酰胺;抑菌性能

中图分类号: X703.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)06-0197-05

界面光热膜蒸发技术是一种低能耗污水处理与资源回收技术。但由于光热膜材料易受微生物污染、更换过程繁琐浪费人工等问题,目前大多被局限地应用于海水淡化等领域。因此,提高光热膜的抗微生物污染性能将成为光热膜广泛应用于其他污水体系如沼液处理、市政污水处理等领域的关

键。细菌纤维素(BC)是以葡萄糖、糖化食物废料等糖类为原料,由木醋杆菌等好氧微生物在生长液-空气界面处发酵后分泌的富含亲水性羟基基团的纤维素纳米纤维,通过互相交联形成合成的三维结构特殊水凝胶^[1-2]。BC 不但具备常规水凝胶的诸多优点,且将光热转换剂等纳米颗粒加入到生长液中,纳米纤维还能够与其组装交联,原位发酵还能合成性能优异的纳米复合 BC 水凝胶膜^[3-5],是制备光热膜的理想基体材料。Hu 等利用纤维素、环氧氯丙烷及炭黑制备了纤维素基双层水凝胶(DCH),在 1 kW/m² 太阳光照度下,DCH 的蒸发速率高达 1.582 kg/(m²·h),蒸发率达 91.4%。耐久性试验

收稿日期:2021-05-06

基金项目:江苏现代农业产业技术体系建设专项资金(编号:JATS[2020]391);国家自然科学基金(编号:22078136)。

作者简介:朱 艳(1995—),女,江苏盐城人,硕士,主要从事固体废物弃物资源化利用方面的研究。E-mail:1101710806@qq.com。

通信作者:叶小梅,博士,研究员,主要从事有机废弃物能源化利用研究。E-mail:yexiaomei610@126.com。

[16]季文光,崔娟敏,李志文,等. 基于 Kruskal 的拆旧区空间时序安排模糊聚类分析[J]. 现代电子技术,2016,39(13):121-123,127.

[17]Shi S X, Tong P S. Evaluation system and spatial distribution pattern of ecological city construction - based on dpsirtopsis model[J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2019, 17(1): 601-616.

[18]余文波,蔡海生,张 莹,等. 基于 RS 及 GIS 的南昌市土地生态安全动态评价及分区[J]. 水土保持研究,2018,25(4):244-249,256.

[19]程淑杰,王重玲,王 婷,等. 基于 GIS 的宁夏中部干旱带土地利用生态安全动态评价[J]. 水土保持研究,2017,24(4):342-348.

[20]卢 涛,王占岐,魏 超,等. 基于 DPSIR 模型的合肥市土地生态安全物元分析评价[J]. 水土保持研究,2015,22(4):221-227,231.

[21]魏黎灵,李岚彬,林 月,等. 基于生态足迹法的闽三角城市群生态安全评价[J]. 生态学报,2018,38(12):4317-4326.

[22]Liu X L, Miao C. Large - scale assessment of landslide hazard, vulnerability and risk in China[J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2018, 9(1):1037-1052.

[23]黄辉玲,罗文斌,吴次芳,等. 基于物元分析的土地生态安全评价[J]. 农业工程学报,2010,26(3):316-322.

[24]李晓娜,邓忠坚,王秋华,等. 1986—2015 年滇西北地区土地利用类型时空动态研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2019, 39(6):137-145.

[25]焦 红,汪 洋. 基于 PSR 模型的佳木斯市土地生态安全综合评价[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(11):29-36.

[26]于淑会,周向莉,卿冀川,等. 河北滨海盐碱土地生态安全评价[J]. 中国生态农业学报,2017,25(5):778-786.

[27]徐 珊,杨 光,张承舟,等. 基于 PSR 模型的城市土地生态安全评价:以青岛市为例[J]. 环境工程,2019,37(9):199-204.