

京津冀协同发展视阈下河北省国土空间生态风险评价

季文光^{1,2}, 林永会¹, 成福伟^{1,2}, 张坤¹ (1. 河北民族师范学院, 河北承德 067000; 2. 国家民委日韩绿色发展中心, 北京 100101)

摘要 以京津冀国土空间生态环境协同为出发点, 构建了河北省国土空间生态环境风险评价指标体系, 并采用基于层次分析的模糊综合评价方法进行典型城市评价。结果表明, 河北省衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市在保护纲领与规划、资源可持续、生物多样性、生态环境污染、生态环境破坏的生态风险评价因素的综合指数排序为 1、2、5、3、4。张家口市国土空间生态环境风险总体处于较低水平, 石家庄市资源可持续风险指标和生态环境污染风险指标为近年来最低, 而生物多样性风险略高。

关键词 国土空间; 生态风险评价; 协同发展; 京津冀; 河北省

中图分类号 X 826 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)10-0073-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.10.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Ecological Risk Assessment of Land Space in Hebei Province from the Perspective of Coordinated Development of Beijing, Tianjin and Hebei

JI Wen-guang^{1,2}, LIN Yong-hui¹, CHENG Fu-wei^{1,2} et al (1. Hebei Normal University for Nationalities, Chengde, Hebei 067000; 2. National Ethnic Affairs Commission Japan-Korea Green Development Center, Beijing 100101)

Abstract Starting from the coordination of land, space and ecological environment in Beijing, Tianjin and Hebei, the index system of land space ecological environment risk assessment in Hebei Province was constructed, and the fuzzy comprehensive evaluation method based on AHP was used to evaluate typical cities. The results showed that Hengshui City, Langfang City, Zhangjiakou City, Shijiazhuang City and Qinhuangdao City in Hebei Province were ranked as 1, 2, 5, 3 and 4 in the comprehensive index of ecological risk assessment factors of protection program and planning, resource sustainability, biodiversity, ecological environment pollution and ecological environment destruction. Zhangjiakou's land space ecological environment risk was at a low level, and the resource sustainable risk index and ecological environment pollution risk index of Shijiazhuang were the lowest in recent years, but biodiversity risk was slightly higher.

Key words Land space; Ecological risk assessment; Coordinated development; Beijing-Tianjin-Hebei; Hebei Province

为防止京津冀区域国土空间生态破坏对生态环境的影响, 国内外学者积极开展了国土空间生态环境风险评价相关学术研究, 以保证京津冀区域国土空间生态环境安全, 并取得了一些重要成果。随着生态环境治理与政府协同发展理论、生态系统健康理论、生态风险评价和区域一体化建设等理论的研究深入, 京津冀国土空间生态环境治理一体化研究正逐步由治理模式、对策和法律等方面向生态环境风险评价、监测、人类活动对自然现象的多维空间影响等方面拓展^[1-3]。河北省处于京津冀区域发展重要节点, 对河北省不同区域的国土空间生态环境风险态势进行差异分析和综合评价, 从维护区域国土空间生态环境安全角度出发认识维护京津冀乃至国家安全的重要性, 审视区域国土空间生态环境安全的价值, 探索河北省国土空间生态环境保护的途径, 有助于摸清河北省国土空间生态环境现状, 准确把握河北省国土空间生态环境的影响因素, 为政府实现自然、经济和社会的生态安全以及制定国土空间生态环境保护的政策和措施提供理论支撑。

1 资料与方法

1.1 研究区域概况 河北省地貌复杂多样, 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。地势西北高、东南低, 由西北向东南倾斜。坝上高原属蒙古高原一部分, 地形南高北低。燕山和太行山山地包括 4 种地貌类型, 分别是中山山地区、低山山

地区、丘陵地区和山间盆地。河北平原区是华北平原的一部分, 按其成因可分为山前冲洪积平原、中部中湖积平原区和滨海平原区 3 种地貌类型。2019 年末, 河北省常住人口 7 556.3 万, 生产总值 35 104.5 亿元, 其中, 第一产业增加值 3 518.4 亿元, 第二产业增加值 13 597.3 亿元, 第三产业增加值 17 988.8 亿元。建设用地 2.26 万 km², 含城镇村及工矿用地 1.96 万 km²。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。2019 年, 河北省 5—9 月连续 5 个月 PM_{2.5} 平均浓度达到国家空气质量二级标准。设区市平均优良天数为 226 d。其中承德、张家口市优良天数均为 308 d。

1.2 典型城市选择及数据来源 依据河北省国土空间功能区划及河北省地形地貌特点, 选择衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市 5 个城市作为典型城市进行研究。研究数据主要来自《河北统计年鉴(2019 年)》《河北经济年鉴(2019 年)》, 衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市的统计年鉴(2019 年), 《河北环境保护年鉴(2019 年)》, 衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市的《国民经济和社会发展统计公报(2019 年)》等。部分数据来自科研成果及公开发表的论文, 少数缺失数据根据已有数据估算得出。

1.3 研究方法

1.3.1 评价指标体系构建。 综合调研结果, 构建由 5 类影响因素组成, 每个因素下又包含若干指标和因子的国土空间生态环境风险评价指标体系^[4-5], 具体如图 1 所示。

基金项目 河北省社会科学基金项目(HB20YJ008)。

作者简介 季文光(1977—), 男, 辽宁沈阳人, 副教授, 博士, 从事区域土地经济研究。

收稿日期 2020-10-10

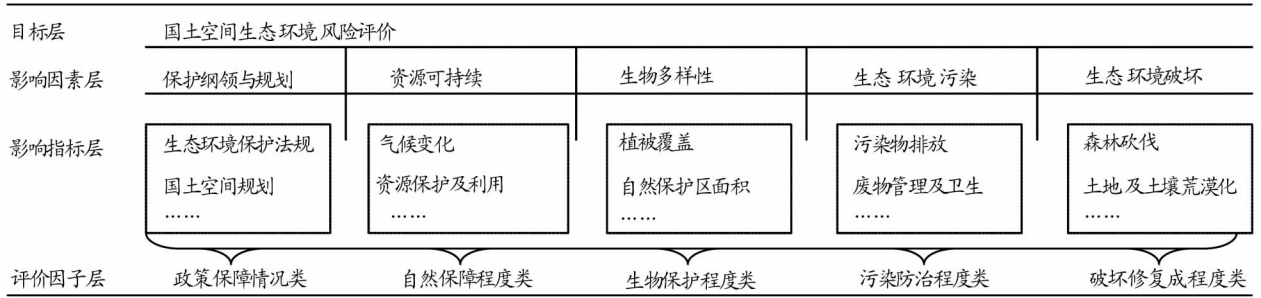


图1 国土空间生态环境风险评价体系框架

Fig.1 Framework of land space ecological environment risk assessment system

目标层(I)^[3-5]:国土空间生态环境风险评价;影响因素层(II)^[6]:保护纲领与规划风险(II-I)、资源可持续风险(II-II)、生物多样性风险(II-III)、生态环境污染风险(II-IV)、生态环境破坏风险(II-V);影响指标层(III)^[7-10]:生态环境保护法规(III-I)、国土空间规划(III-II)、气候变化(III-III)、资源保护及利用(III-IV)、植被覆盖(III-V)、废物管理及卫生

(III-VI)、污染物排放(III-VII)等20余个指标;评价指标层(IV):环境保护法(IV-I)、土地利用规划(IV-II)、水资源利用(IV-III)、植被覆盖指数(IV-IV)、污染物排放(IV-V)等40余个评价因子^[11]。河北省典型城市国土空间生态环境风险评价指标体系如表1所示。

表1 河北省典型城市国土空间生态环境风险评价指标体系及数据

Table 1 Evaluation index system and data of land space ecological environment risk assessment of typical cities in Hebei Province

评价目标 Evaluation target	评价因素 Evaluation factor	评价指标 Evaluation index	单位 Unit	典型城市 Typical city				
				衡水市 Hengshui City	廊坊市 Langfang City	张家口市 Zhangjiakou City	石家庄市 Shijiazhuang City	秦皇岛市 Qinhuangdao City
河北省国土空间生态环境风险评价 Eco-environmental risk assessment of land and space in Hebei Province(A)	保护纲领与规划 A ₁	环保投资占 GDP 比率 A ₁₁	%	3.624	3.626	3.536	3.972	3.547
		人均地区生产总值 A ₁₂	元/人	33 599	66 583	35 025	52 859	51 334
	资源可持续 A ₂	城市绿化覆盖率 A ₁₃	%	41.48	0.02	40.40	36.15	40.24
		污水集中处理率 A ₁₄	%	98.13	95.00	95.00	95.00	94.00
	生物多样性 A ₃	GDP 增长率(比上年) A ₂₁	%	6.8	7.0	6.9	6.7	6.7
		农业产业化经营率 A ₂₂	%	69.4	66.0	65.4	67.5	70.9
		城镇居民恩格尔系数 A ₂₃	%	29.6	28.2	29.5	24.4	25.5
		土地胁迫指数 A ₂₄		5.0	5.0	3.0	5.0	3.0
		水资源量 A ₂₅	亿 m ³	6.13	6.11	17.99	23.50	16.40
		生物丰度指数 A ₃₁	%	5.27	5.64	16.74	13.46	7.83
		土地垦殖系数 A ₃₂	%	66.25	65.97	46.94	41.41	51.18
	生态环境污染 A ₄	森林覆盖率 A ₃₃	%	41.19	46.22	54.20	35.00	54.00
		绿地率 A ₃₄	%	36.16	42.91	38.00	38.80	38.69
		粮食播种面积 A ₃₅	万 km ²	71.19	29.01	46.85	43.13	19.97
水质达标率 A ₄₁		%	100	100	100	100	100	
污染源排放达标率 A ₄₂		%	81.4	81.6	80.1	82.1	80.9	
生态环境破坏 A ₅	空气质量达标率 A ₄₃	%	55.9	64.4	84.6	69.2	75.1	
	降尘量 A ₄₄	t/km ²	4.1	4.2	3.2	4.5	3.8	
	噪音平均值 A ₄₅	dB(A)	65	66	55	67	63	
	沙化土地面积比 A ₅₁	%	12.27	10.14	22.54	11.61	12.15	
	水源涵养指数 A ₅₂		4.5	4.5	5.2	4.5	4.7	
	农村垃圾收集处理率 A ₅₃	%	93.5	98.5	90.0	93.6	95.7	
	水土流失比重 A ₅₄	%	40.5	41.1	45.6	42.5	42.3	

1.3.2 权重确定。采用层次分析法来确定国土空间生态环境风险评价指标体系的权重^[12-14]。各指标的相对重要性采用比率标度法判断。比率标度法是根据2个因素重要程度相比结果分别赋予相应的标度,即同等重要、略重要、显著重要、非常重要和特别重要分别表示为5/5=1.0、6/4=1.5、

7/3=2.3、8/2=4.0、9/1=9.0。如果重要程度处于上述各情况中间,则赋予相应的标度为5.5/4.5=1.2、6.5/3.5=1.9、7.5/2.5=3.0、8.5/1.5=5.7。由比率标度法得到判断矩阵,对判断矩阵求最大正特征根,并用方根法求解得到各指标权重^[15]。具体结果如表2所示。

1.3.3 模糊综合评价。各指标对于国土空间生态环境风险的隶属度为:

$$\mu_{\lambda}(x_i) = r_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq x_i \leq x_{\min,i} \\ \frac{x_i - x_{\min,i}}{x_{\max,i} - x_{\min,i}} & x_{\min,i} \leq x_i \leq x_{\max,i} \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中, $\mu_{\lambda}(x_i)$ 表示 x_i 的国土空间生态环境风险隶属度, x_i 为指标 i 的原始国土空间生态环境风险数值, $x_{\max,i}$ 表示该指标值序列里最大值, $x_{\min,i}$ 表示该指标值序列里最小值。

表 2 权重确定结果
Table 2 Weight determination results

评价因素 Evaluation factors	分权重 Sub-weights	组合权重 Combination weights
A ₁	0.140 4	0.140 4
A ₁₁	0.216 5	0.030 4
A ₁₂	0.481 5	0.067 6
A ₁₃	0.104 0	0.014 6
A ₁₄	0.198 0	0.027 8
A ₂	0.166 0	0.166 0
A ₂₁	0.347 0	0.057 6
A ₂₂	0.224 1	0.037 2
A ₂₃	0.230 1	0.038 2
A ₂₄	0.127 7	0.021 2
A ₂₅	0.071 1	0.011 8
A ₃	0.229 2	0.229 2
A ₃₁	0.209 4	0.048 0
A ₃₂	0.158 8	0.036 4
A ₃₃	0.223 4	0.051 2
A ₃₄	0.235 6	0.054 0
A ₃₅	0.172 8	0.039 6
A ₄	0.248 0	0.248 0
A ₄₁	0.346 0	0.085 8
A ₄₂	0.187 1	0.046 4
A ₄₃	0.087 1	0.021 6
A ₄₄	0.138 7	0.034 4
A ₄₅	0.241 1	0.059 8
A ₅	0.216 4	0.216 4
A ₅₁	0.343 8	0.074 4
A ₅₂	0.244 0	0.052 8
A ₅₃	0.242 1	0.052 4
A ₅₄	0.170 1	0.036 8
合计 Total	1.000 0	1.000 0

国土空间生态环境风险模糊综合评价计算式:

$$C = (W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, \dots, W_k^{(1)}) (C_1, C_2, \dots, C_k)^T \quad (2)$$

其中, C 为国土空间生态环境风险综合评价, 国土空间生态环境风险模糊综合评价越大, 表明国土空间生态环境风险程度越高^[16]。 $(W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, \dots, W_k^{(1)})$ 表示通过计算且经过一致性检验得到的一级指标的权重, k 为一级指标个数, C_j 为第 j 个一级评价指标的模糊评价向量, 其计算公式如下:

$$C_j = W_j^{(2)} \times R_j = (w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jm_j}) (R_{j1}, R_{j2}, \dots, R_{jm_j})^T \quad (3)$$

通过计算且经过一致性检验得到二级指标权重:

$$W^{(2)} = (W_1^{(2)}, W_2^{(2)}, \dots, W_k^{(2)}) = (w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1m_1}, w_{21}, w_{22}, \dots, w_{2m_2}, \dots, w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km_k}) \quad (4)$$

通过计算, 确定模糊向量:

$$R = (R_1, R_2, \dots, R_k)^T = (R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1m_1}, R_{21}, R_{22}, \dots, R_{2m_2}, \dots, R_{k1}, R_{k2}, \dots, R_{km_k})^T \quad (5)$$

其中 $m = m_1 + m_2 + \dots + m_k$ 为二级指标个数, m_j 为第 j 个一级评价指标包含的二级指标的个数。

1.3.4 建立国土空间生态环境风险评价指标的模糊矩阵。对原始数据计算模糊隶属度, 构造模糊矩阵:

$$R = [R_1, R_2, R_3, R_4, R_5]^T = [R_{11} R_{12} \dots R_{15} R_{21} R_{22} R_{31} R_{32} \dots R_{52} R_{53} R_{54}]^T = \begin{bmatrix} 1.000 0 & 0.095 6 & 0.057 4 & 0.276 8 & 0.043 2 \\ 1.000 0 & 0.167 4 & 0.000 0 & 0.465 2 & 0.087 3 \\ 1.000 0 & 0.029 8 & 0.316 4 & 0.472 3 & 0.113 2 \\ 1.000 0 & 0.000 0 & 0.214 1 & 0.088 7 & 0.042 2 \\ 1.000 0 & 0.256 5 & 0.431 2 & 0.000 0 & 0.021 3 \\ 0.367 1 & 0.000 0 & 0.335 1 & 1.000 0 & 0.246 4 \\ 1.000 0 & 0.651 2 & 0.086 7 & 0.074 1 & 0.125 3 \\ 1.000 0 & 0.214 2 & 0.442 1 & 0.086 4 & 0.231 1 \\ 1.000 0 & 0.542 2 & 0.000 0 & 0.241 1 & 0.045 3 \\ 0.322 1 & 0.000 0 & 0.421 5 & 1.000 0 & 0.087 1 \\ 1.000 0 & 0.042 1 & 0.112 6 & 0.021 0 & 0.333 1 \\ = & 1.000 0 & 0.312 1 & 0.055 3 & 0.031 1 & 0.328 9 \\ 1.000 0 & 0.212 3 & 0.099 1 & 0.000 0 & 0.443 1 \\ 1.000 0 & 0.452 1 & 0.066 1 & 0.000 0 & 0.097 7 \\ 1.000 0 & 0.021 3 & 0.444 4 & 0.055 6 & 0.272 3 \\ 0.521 3 & 0.214 1 & 0.000 0 & 1.000 0 & 0.897 4 \\ 1.000 0 & 0.055 2 & 0.643 1 & 0.077 1 & 0.248 6 \\ 1.000 0 & 0.000 0 & 0.521 3 & 0.141 4 & 0.021 1 \\ 1.000 0 & 0.000 0 & 0.412 1 & 0.065 4 & 0.110 1 \\ 0.557 6 & 0.040 2 & 0.517 7 & 1.000 0 & 0.026 9 \\ 1.000 0 & 0.045 6 & 0.000 0 & 0.542 1 & 0.038 7 \\ 1.000 0 & 0.124 1 & 0.000 0 & 0.222 7 & 0.066 4 \\ 1.000 0 & 0.089 1 & 0.000 0 & 0.121 4 & 0.088 1 \end{bmatrix}$$

其中, 行列式中的 23 行代表河北省国土空间生态环境风险的 23 个指标, 行列式中的 5 列代表河北省的 5 个典型城市 (衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市)。

2 结果与分析

计算各年份的国土空间生态环境风险综合评价^[16]。

$$C_1 = W_1^{(2)} \times R_1 = (w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1m_1}) (R_{11}, R_{12}, \dots, R_{1m_1})^T = (0.216 5, 0.481 5, 0.104 0, 0.198 0)$$

$$\begin{bmatrix} 1.000 0 & 0.095 6 & 0.057 4 & 0.276 8 & 0.043 2 \\ 1.000 0 & 0.167 4 & 0.000 0 & 0.465 2 & 0.087 3 \\ 1.000 0 & 0.029 8 & 0.316 4 & 0.472 3 & 0.113 2 \\ 1.000 0 & 0.000 0 & 0.214 1 & 0.088 7 & 0.042 2 \end{bmatrix} = (1.000 0, 0.069 4, 0.253 2, 0.313 6, 0.203 6)$$

即衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市在保护纲领与规划风险指标上的排序为 1、5、3、2、4。同理, $C_2 = W_2^{(2)} \times R_2 = (0.764 2, 0.333 2, 0.371 5, 0.520 3, 0.092 1)$, 即衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市在资源可持续风险指标上的排序为 1、3、4、2、5; $C_3 = W_3^{(2)} \times R_3 = (0.632 5, 0.432 2,$

0.000 0, 0.867 4, 0.488 2), 即衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市在生物多样性风险指标上的排序为 2、4、5、1、3; $C_4 = W_4^{(2)} \times R_4 = (0.554\ 2, 0.338\ 2, 0.443\ 6, 0.060\ 1, 0.041\ 5)$, 即衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市在生态环境污染风险指标上的排序为 1、3、2、4、5; $C_5 = W_5^{(2)} \times R_5 = (0.627\ 1, 0.456\ 3, 0.443\ 6, 0.063\ 1, 0.092\ 2)$, 即衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市在生态环境破坏风险指标上的排序为 1、2、3、5、4。

$$C = (W_1^{(1)}, W_2^{(1)}, \dots, W_k^{(1)})(C_1, C_2, \dots, C_k)^T$$

$$= (0.140\ 4, 0.166\ 0, 0.229\ 2, 0.248\ 0, 0.216\ 4)$$

1.000 0	0.069 4	0.253 2	0.313 6	0.203 6
0.764 2	0.333 2	0.371 5	0.520 3	0.092 1
0.632 5	0.432 2	0.000 0	0.867 4	0.448 2
0.554 2	0.338 2	0.443 6	0.060 1	0.041 5
0.627 1	0.456 3	0.443 6	0.063 1	0.092 2

$$= (0.825\ 4, 0.482\ 6, 0.113\ 5, 0.401\ 3, 0.146\ 8)$$

通过计算可得衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市在各指标上的总排序为 1、2、5、3、4。河北省张家口市国土空间生态环境风险总体处于较低水平, 石家庄市资源可持续风险指标和生态环境污染风险指标为近年来最低, 而生物多样性风险略高。

3 结论与讨论

综上所述, 河北省衡水市、廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市在保护纲领与规划风险指标上的排序为 1、5、3、2、4, 在资源可持续风险指标上的排序为 1、3、4、2、5, 在生物多样性风险指标上的排序为 2、4、5、1、3, 在生态环境污染风险指标上的排序为 1、3、2、4、5, 在生态环境破坏风险指标上的排序为 1、2、3、5、4, 在各指标上的总排序为 1、2、5、3、4。河北省张家口市国土空间生态环境风险总体处于较低水平, 石家庄市资源可持续风险指标和生态环境污染风险指标为近年来最低, 而生物多样性风险略高。

今后, 河北省廊坊市、张家口市、石家庄市、秦皇岛市等典型城市应从机制体制层面、自然保障层面、生物保护层面、污染防治层面和破坏修复层面构建国土空间生态环境治理体系。在国土空间规划中开展生态环境治理专项规划研究,

国土空间生态环境治理应关注国土空间生态环境治理保护潜在的长期性问题; 国土空间生态环境安全评价及治理相关内容纳入生态环境治理专项规划, 切实加强制度的完善和监督, 针对国土空间生态环境变化制定动态的土地生态保护政策, 同时关注国土空间生态环境污染及破坏后修复的后期管理, 建立相应的评价机制及畅通的反馈渠道, 统筹安排年度国土空间生态环境保护任务, 注重资源利用和生态多样性保护, 正确协调和处理人类活动与自然生态的关系。

参考文献

- [1] 赵甜甜, 王铭琦. 京津冀协同发展背景下河北生态环境建设研究[J]. 河北企业, 2020(2): 75-76.
- [2] 孟庆瑜. 论京津冀环境治理的协同立法保障机制[J]. 政法论丛, 2016(1): 121-128.
- [3] 把增强, 王连芳. 京津冀生态环境建设: 现状、问题与应对[J]. 石家庄铁道大学学报(社会科学版), 2015, 9(4): 1-5.
- [4] WAIYASURI K, YUMUANG S, CHOTPANTARAT S. Monitoring and predicting land use changes in the Huai Thap Salao Watershed area, Uthai-thani Province, Thailand, using the CLUE-s model [J]. Environmental earth sciences, 2016, 75(6): 1-16.
- [5] ANSARI A, GOLABI M H. Using Ecosystem Service Modeler (ESM) for Ecological Quality, rarity and Risk Assessment of the wild goat habitat, in the Haftad-Gholleh protected area[J]. International soil and water conservation research, 2019, 7(4): 346-353.
- [6] 孙艺宁, 许嘉巍. 基于主成分分析的长春市土地生态安全评价[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(34): 207-210.
- [7] 赵红安. 北戴河新区土地利用时空变化与生态风险评价研究[D]. 保定河北农业大学, 2018.
- [8] 苏臣, 赵迪. 基于生态足迹模型的常德市国土生态安全评价[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(27): 23-24.
- [9] 高月, 孙荣国, 叶彩, 等. 贵州省丹寨县某铅锌矿区土壤重金属污染生态风险评价[J]. 生态学杂志, 2020, 39(3): 928-936.
- [10] 王锐浩, 黄鹏飞, 单科. 基于模糊综合评价的大型海水淡化项目风险评价研究[J]. 环境科学与管理, 2019, 44(12): 190-194.
- [11] 汪歌忠, 刘卓, 魏浩, 等. 白洋淀表层沉积物元素的空间特征、风险评价及来源分析[J]. 环境科学, 2020, 41(1): 224-231.
- [12] 代鹤峰. 清远市及东莞市水源区抗生素污染特征分析与生态风险评价[D]. 西安: 西安工程大学, 2019.
- [13] 何培. 苏北浅滩表层沉积物中主要污染物的分布、来源及风险评价[D]. 大连: 大连海洋大学, 2019.
- [14] 赵岫竹. 基于系统动力学的黑龙江省水土资源保障风险评价[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [15] 崔娟敏, 李文光. 基于 AHP 的土地集约利用水平模糊综合评价[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 122-125.
- [16] 王思成, 运迎霞, 贾琦. 基于“源—流—汇”指数分析的天津市中心城区生态韧性评价[J]. 西部人居环境学刊, 2020, 35(1): 82-90.
- [17] BROOKS R R, LEE J, REEVES R D, et al. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants[J]. Journal of geochemical exploration, 1977, 7: 49-57.
- [18] CHANEY R L. Plant uptake of inorganic waste constituents[M]//PARR J F, MARSH P B, KLA J M. Land treatment of hazardous wastes. Park Ridge, New Jersey, USA: Noyes Data Corporation, 1983: 50-76.
- [19] 谷雨, 蒋平, 谭丽, 等. 6 种植物对土壤中镉的富集特性研究[J]. 中国农学通报, 2019, 35(30): 119-123.
- [20] 顾燕青, 顾优丽, 白倩, 等. 杭州市菜地蔬菜对土壤重金属的富集特性研究[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(4): 401-410.
- [21] 时圣刚. 重金属对环境与人体健康影响浅议[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(14): 6425-6426.
- [22] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [23] 茹淑华, 孙世友, 王凌, 等. 蔬菜重金属污染现状、污染来源及防治措施[J]. 河北农业科学, 2006, 10(3): 88-91.

(上接第 72 页)

- [15] 国家环境保护局, 国家技术监督局. 土壤质量 总铬的测定 火焰原子吸收分光光度法: GB/T 17137—1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [16] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 食品中总汞及有机汞的测定: GB/T 5009.17—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [17] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 食品中总砷及无机砷的测定: GB/T 5009.11—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中铅的测定: GB 5009.12—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中镉的测定: GB 5009.15—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中铬的测定: GB 5009.123—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [21] 程树青, 夏建东, 赵宽. 土壤重金属污染现状及生物修复技术综述[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(12): 40-42, 75.