



河北廊坊地区生态地质脆弱性研究

牛学瑶^{1,2}, 安洪岩^{1,2}, 朱梅涛¹, 宋东阳¹, 李 翱¹, 龚 伦¹,
孙伟涛¹, 乔衍溢¹, 武 杰¹, 顾亚强¹, 李学光¹

1. 中国地质调查局 廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000;

2. 河北省高校生态环境地质应用技术研发中心, 河北 石家庄 050031

摘 要: 以廊坊市南部七区县为研究对象, 依托生态修复支撑调查项目数据, 基于 GIS 技术, 采用层次分析法对廊坊地区进行了生态脆弱性研究, 提出生态保护修复与发展建议。研究表明, 廊坊市南部七区县生态地质微度脆弱区的面积为 1 742.85 km², 占总面积的 33.83%; 轻度脆弱区的面积为 2 287.51 km², 占总面积的 44.40%; 中度脆弱区的面积为 961.72 km², 占总面积的 18.67%; 高度脆弱区的面积为 159.92 km², 占总面积的 3.10%。

关键词: 生态地质; 脆弱性评价; GIS 技术; 层次分析法; 廊坊地区

Study on the eco-geological vulnerability in Langfang area, Hebei Province

NIU Xue-yao^{1,2}, AN Hong-yan^{1,2}, ZHU Mei-tao¹, SONG Dong-yang¹, LI Xuan¹, GONG Lun¹,
SUN Wei-tao¹, QIAO Yan-yi¹, WU Jie¹, GU Ya-qiang¹, LI Xue-guang¹

1. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Langfang 065000, Hebei Province, China;

2. Hebei Center for Ecological and Environmental Geology Research, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China

Abstract: Taking the seven districts and counties in southern Langfang City as the study area, this research assesses the ecological vulnerability of Langfang area and puts forward suggestions for ecological protection, restoration and development by way of GIS and AHP (analytic hierarchy process) on the basis of data from the ecological restoration survey projects. The results show that the slightly vulnerable zone covers 1 742.85 km², accounting for 33.83% of the total area, the mildly vulnerable zone 2 287.51 km² (44.40%), the moderately vulnerable zone 961.72 km² (18.67%), and the highly vulnerable zone 159.92 km² (3.10%).

Key words: eco-geology; vulnerability assessment; GIS; AHP; Langfang area

0 引言

生态地质脆弱性评价是判定和评价区域生态地质

环境总体条件或某些对区域性综合开发建设适宜性好

坏的指标, 能够为区域生态地质环境规划和生态环境

收稿日期: 2023-05-12; 修回日期: 2024-03-27. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“京津冀廊坊地区生态修复支撑调查”(DD20208073), “东部平原湖区北部湖泊调查”(DD20230505); 河北省高校生态环境地质应用技术研发中心开放研究基金项目(JSYF-202306); 自然资源综合调查指挥中心科技创新基金项目(KC20220008).

作者简介: 牛学瑶(1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事水工环地质调查工作, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail/1315804271@qq.com

通信作者: 安洪岩(1994—), 男, 工程师, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail/568548265@qq.com

引用格式: 牛学瑶, 安洪岩, 朱梅涛, 宋东阳, 李翱, 龚伦, 孙伟涛, 乔衍溢, 武杰, 顾亚强, 李学光. 河北廊坊地区生态地质脆弱性研究[J]. 地质与资源, 2025, 34(4): 469-478.

Niu X Y, An H Y, Zhu M T, Song D Y, Li X, Gong L, Sun W T, Qiao Y Y, Wu J, Gu Y Q, Li X G. Study on the eco-geological vulnerability in Langfang area, Hebei Province [J]. Geology and Resources, 2025, 34(4): 469-478.

地质问题的防治提供决策依据^[1-8]。

自 20 世纪 80 年代起,国内外学者开始意识到生态地质环境的重要性并开展了相应的研究,借助日益发展起来的地理信息系统(GIS)技术,对地理相关数据高效地进行分析、处理,大大提高了研究效率,为生态地质环境质量评价提供了重要帮助^[9-13]。

廊坊市南部七区县包括广阳区、安次区、永清县、固安县、霸州市、文安县、大城县(图 1),其大部分为凹陷地区,区内河网较密,地下水较丰富,存在较大面积地下咸水区,自然环境和人类活动很有代表性。区内人类活动强烈,水质污染、河水断流、地下水咸化等生态地质问题日趋严重,生态环境比较脆弱。为了研究人类活动强烈的廊坊地区生态地质环境质量,在廊坊市南部的七区县行政范围内,利用 GIS 技术进行生态地质脆弱性分析,评价各类脆弱性的影响因素^[14],提

出修复与发展建议^[15],以期廊坊市南七区县建立合理的生态保护、国土空间修复、产业布局等策略提供科学的地学依据。

1 生态地质脆弱性评价体系构建

一个完整的生态地质脆弱性评价体系,首先要在对当地的自然地理、地质环境、生态条件、人文社会背景进行调查了解的基础上,通过实地野外勘察,利用地理信息技术,全面了解研究区的地形地貌、地质构造、生态现状等,进而筛选出合适的评价指标,通过数理统计、数学模型及 GIS 等方法 and 途径进行评价计算,最终达到发现、总结现状问题,提出生态修复及保护措施的目标^[16-18]。

1.1 评价指标体系的构建原则

相关评价指标的类型及准确性将会对生态地质脆

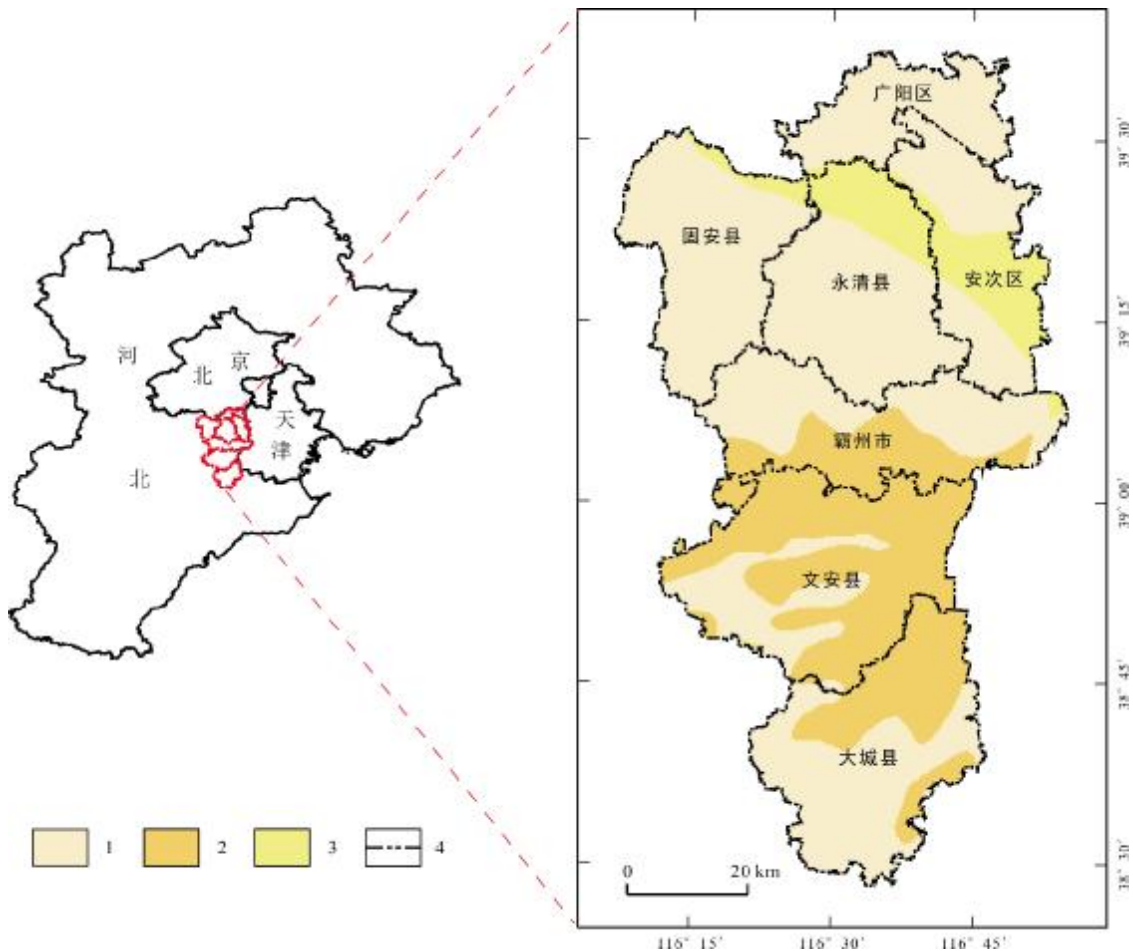


图 1 研究区区域位置及地表基质类型图

Fig. 1 Regional location map of the study area with ground substrate types

1—砂性土(sandy soil); 2—黏性土(clay soil); 3—砂(sand); 4—行政区界线(boundary of administrative region)

弱性评价结果的客观性产生直接的影响,所以重中之重应该是准确地选择评价指标并且建立相应的评价指标体系。一般情况下,评价指标要有代表性,便于综合,便于计算。选择可靠实用的指标进行分析,能够全面客观地、科学地反映出生态及地质条件的综合水平。评价指标体系的构建要遵循整体性、综合性、针对性、可获得性、可操作性等原则。

1.2 评价指标的选取

参照前人研究,依据生态地质脆弱性评价指标体系构建原则,廊坊市南七区县属人类活动强烈地区,自然环境受人类改造明显,特别是地表可见的植被、土地利用情况受人类活动影响最直接。在收集了研究区的各种资料后,以自然地质本底为基础,叠加人类活动影响,依照层次分析法选取自然环境条件和人类工程活动作为2个一级指标并选取了13个二级指标(图2)。其中,自然环境条件要素包括地表基质类型、浅层地下水位、有无咸水区、包气带介质类型、高程、河网密度、年降水量、平均气温、地表水质和地表水断流等评价指标;人类工程活动要素以土地利用类型、人口密度和植被指数作为评价指标。

1.3 评价指标的取值及分级

根据对廊坊市南七区县生态地质脆弱性评价的预期目标,参考各个指标图层数据用 ArcGIS 自然间断法切割的结果数据,经少许调整各个值域范围,最终完成各个评价指标的等级区分,并以此作为本研究综合评价的基础数据(表1)。

2 生态地质环境信息提取

选取影响研究区的13个评价指标,针对不同生态地质环境信息采取不同的调查方法,得出相应评价指标因子分布(级)图(图3)。其中地表基质类型、包气带介质类型采用地质浅钻实测;浅层地下水位、河网密度、地表水质、地表水断流采用实测水位统筹和水文地质调查;土地利用类型采用遥感解译+实地验证调查;有无咸水区为收集河北省地质环境监测总站《河北省廊坊市地质环境监测报告》;高程为美国国家航空航天局(<https://www.nasa.gov/>)公开数据;年降水量、平均气温、人口密度、植被指数为资源与环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn/>)公开权威数据提取。所有数据真实可靠,各项指标选取符合研究区的自然环境受人类活动改造明显,以水资源短缺、河道断流、水质污染为主要问题的生态地质特征。

3 复合因子及生态地质脆弱性综合评价分析

3.1 分析确定评价指标权重

利用层次分析法构建上述层次结构模型^[19-20],将评价体系中相关的因子划分为决策目标层(A)、准则层(B)和方案层(C)3个层级。同时构造判断矩阵,采用Santy等提出的一致矩阵法,不再将所有因素放在一起比较,而是将其进行两两对比,采用相对尺度,以此来提高精准度,同时降低性质相异的因素相互对比的难度。确定各因子的权重并通过了一致性检验,CR<0.1(表2、3、4)。最终确定各指标因子权重(表5)。

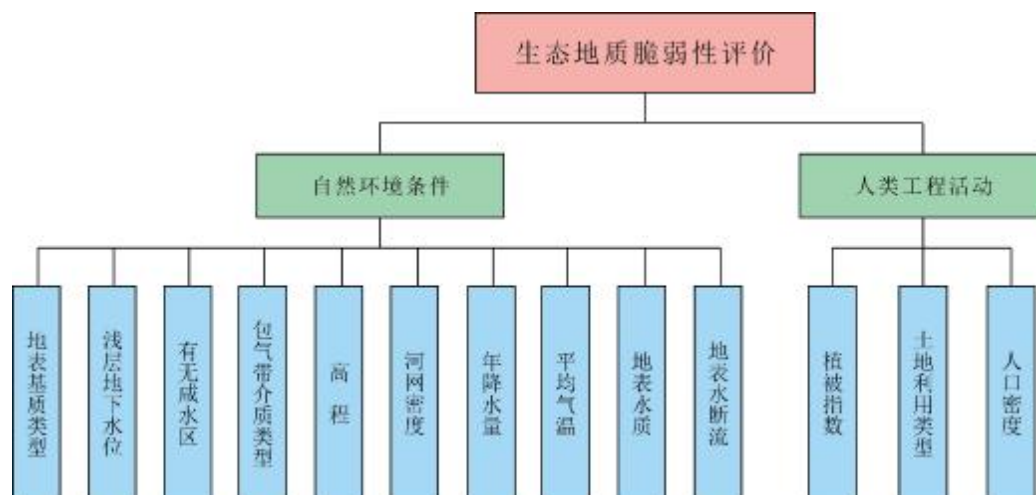


图2 廊坊市南七区县生态地质脆弱性评价指标体系

Fig. 2 Index system of eco-geological vulnerability assessment for Langfang City

表 1 评价指标分级表

Table 1 Grading of assessment indexes

系统	准则层	指标层	脆弱性分级			
			高度(9 分)	中度(7 分)	轻度(5 分)	微度(3 分)
1	自然环境条件	地表基质类型	砂	砂性土		黏性土
2		浅层地下水位/m	—	22~36	2~7, 14~22	7~14
3		有无咸水区		有咸水区		无咸水区
4		包气带介质类型	粉砂、粉土-粉砂	粉土-粉质黏土、粉土	粉质黏土	淤泥质黏土、黏土
5		高程/m	22~56	15~22	8~15	0~8
6		河网密度/(km/km ²)	0~0.15	0.15~0.36	0.36~0.58	0.58~1.26
7		年降水量/mm	447~497	497~540	540~580	580~617
8		平均气温/℃	12.4~12.7	12.7~12.9	12.9~13.2	13.2~13.5
9		地表水质	3~4	2~3	1~2	0~1
10		地表水断流		无水		有水
11	人类工程活动	土地利用类型	建设用地	耕地		林地、水体
12		人口密度/(人/km ²)	>10000	5000~10000	1000~5000	<1000
13		植被指数	0.13~0.34	0.34~0.42	0.42~0.50	0.50~0.71

3.2 复合因子评价及分析

3.2.1 自然环境条件

自然环境条件主要评价区域天然生态系统本底条件的脆弱性,主要复合了地区自然地质和生态因子,反映的是自然环境的基本特征.此复合因子依据地表基质类型、浅层地下水位、有无咸水区、包气带介质类型、高程、河网密度、年降水量、平均气温、地表水质和地表水断流等 10 个单因子的分级与权重叠加,采用自然间断法结合地区特点,将自然环境条件划分为优良、良好、中等、一般共计 4 个等级区,得到自然环境条件质量评价分级图(图 4).

廊坊市南七区县自然环境条件整体质量较好,良好以上区域约占 90%,仅在固安县西南部和霸州胜芳镇附近由于浅层地下水位埋深较大、地表水质较差、河网密度较小及地表水断流等因素影响造成自然环境质量稍差.优良区广泛分布在调查区中部和南部,面积 3 496.71 km²,占调查区面积的 67.87%;良好区主要分布在固安和霸州、安次东部,面积 1 132.47 km²,占调查区面积的 21.98%;中等区呈片状分布在固安中南

部和霸州胜芳一带,面积 490.07 km²,占调查区面积的 9.51%;一般区仅呈点状分布在固安西部和胜芳镇域,面积 32.75 km²,占调查区面积的 0.64%(图 4a).

3.2.2 人类工程活动

研究区地处华北平原京津冀地区,人类工程活动对自然环境的改造明显,对地区生态系统有着重要意义.结合区域调查成果,人类工程活动主要体现在土地利用类型、人口密度和植被指数等方面,所以将这 3 种单因子分级叠加权重,得到人类工程活动强度等级图(图 4b).

区内人类工程活动,依据强烈程度不同划分为一般、中等、较强、强烈共计 4 个等级区.整体看人类工程活动较强烈,特别是城镇和工业发达重镇等,北部永定河流域和南部农业区人类活动一般—中等强烈.一般区主要分布在调查区北部和中南部,面积 1 670.39 km²,占调查区面积的 32.42%;中等区主要呈片、带状分布在调查区南部和东北角,面积 1 597.76 km²,占调查区面积的 31.01%;较强区呈片状分布在调查区中南部,面积 1 152.74 km²,占调查区面积的 22.37%;强烈区主

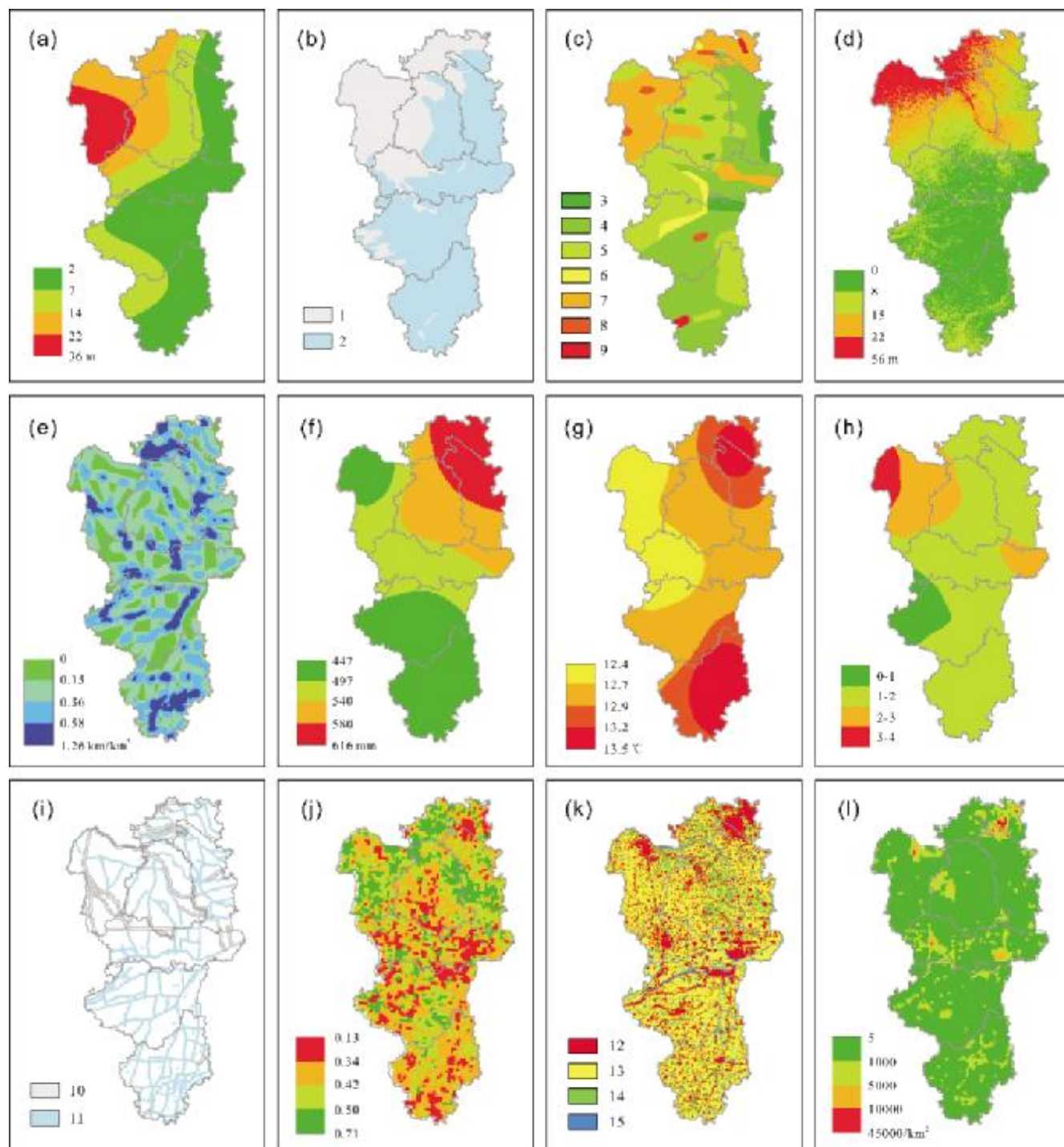


图3 生态地质脆弱性评价主要评价因子分级图

Fig. 3 Grading maps of major assessment factors for eco-geological vulnerability assessment

a—浅层地下水位(shallow groundwater level); b—有无咸水区(saline water area): 1—无咸水(non-saline water), 2—有咸水(saline water); c—包气带介质类型(vadose zone media type): 3—淤泥质黏土(mucky clay), 4—黏土(clay), 5—粉质黏土(silty clay), 6—粉土-粉质黏土(silt-silty clay), 7—粉土(silt), 8—粉土-粉砂(silt-silty sand), 9—粉砂(silty sand); d—高程(elevation); e—河网密度(drainage density); f—年降水量(annual precipitation); g—平均气温(average temperature); h—地表水质(surface water quality); i—地表水断流(surface water cutoff): 10—无水(without water), 11—有水(with water); j—植被指数(vegetation index); k—土地利用类型(land use type): 12—建设用地(construction land), 13—林地(forest land), 14—耕地(cultivated land), 15—水体(water body); l—人口密度(population density)

表 2 自然环境条件一致性检验结果表

Table 2 Consistency test results of natural environmental conditions

自然环境条件	有无咸水区	浅层地下水位	地表基质类型	包气带介质类型	高程	河网密度	年降水量	平均气温	地表水质	地表水断流	权重
有无咸水区	1.0000	1.5000	1.2000	1.3000	9.0000	1.8000	5.0000	7.0000	2.0000	1.7000	0.1862
浅层地下水位	0.6667	1.0000	0.9000	1.1000	7.0000	1.4000	3.0000	5.0000	1.5000	1.3000	0.1357
地表基质类型	0.8333	1.1111	1.0000	1.2000	8.0000	1.6000	4.0000	6.0000	1.7000	1.5000	0.1578
包气带介质类型	0.7692	1.9091	0.8333	1.0000	6.0000	1.3000	3.5000	5.0000	1.4000	1.3000	0.1321
高程	0.1111	0.1429	0.1250	0.1667	1.0000	0.2000	0.5000	0.7000	0.2000	0.1500	0.0195
河网密度	0.5556	0.7143	0.6250	0.7692	5.0000	1.0000	2.5000	3.5000	1.0000	0.9000	0.0981
年降水量	0.2000	0.3333	0.2500	0.2857	2.0000	0.4000	1.0000	1.5000	0.4000	0.3500	0.0394
平均气温	0.1429	0.2000	0.1667	0.2000	1.4286	0.2857	0.6667	1.0000	0.3000	0.2500	0.0271
地表水质	0.5000	0.6667	0.5882	0.7143	5.0000	1.0000	2.5000	3.3333	1.0000	0.9000	0.0947
地表水断流	0.5882	0.7692	0.6667	0.7692	6.6667	1.1111	2.8571	4.0000	1.1111	1.0000	0.1094

一致性比例:0.0019;对“生态地质脆弱性评价”的权重: 0.8000; $\lambda_{\max}$:10.0123

表 3 人类工程活动一致性检验结果表

Table 3 Consistency test results of human engineering activities

人类工程活动	土地利用类型	人口密度	植被指数	权重
土地利用类	1.0000	1.5000	1.0000	0.3732
人口密度	0.6667	1.0000	0.6000	0.2402
植被指数	1.0000	1.6667	1.0000	0.3866

一致性比例:0.0012;对“生态地质脆弱性评价”的权重: 0.2000; $\lambda_{\max}$:3.0012

表 4 生态地质脆弱性评价一致性检验结果表

Table 4 Consistency test results of eco-geological vulnerability assessment

生态地质脆弱性评价	自然环境条件	人类工程活动	权重
自然环境条件	1.0000	4.0000	0.8000
人类工程活动	0.2500	1.0000	0.2000

一致性比例:0.0000;对“生态地质脆弱性评价”的权重: 0.0000; $\lambda_{\max}$:2.0000

要分布在建成区和工业发达的胜芳镇和左各庄镇地区,面积 731.11 km²,占调查区面积的 14.19%。

3.3 脆弱性综合评价结果及建议

根据生态地质脆弱性评价的方法及原则,参阅大量文献,并依照上述的分级标准,对各指标的赋值结果

进行相应的分级处理,求出各因子分级赋值结果与表 5 中相对应单个因子权重系数的乘积和即是得分。采用 ArcGIS 软件详细计算出廊坊市南七区县生态地质脆弱性综合评价图(图 4c),并对其进行自然间断法的四级切割,然后按照其分值高低进行排序,将廊坊市南

表 5 生态地质脆弱性评价体系各因子权重表

Table 5 Weights of factors in eco-geological vulnerability assessment system

准则层	权重	指标层	权重	评价项目等级数据提取
自然环境条件	0.8000	地表基质类型	0.1263	按黏性土、砂性土、砂划分
		浅层地下水位	0.1086	按浅层地下水位深度分级
		有无咸水区	0.1490	按有无咸水分级
		包气带介质类型	0.1057	按黏性土、砂性土、砂划分
		高程	0.0156	按高程差分级
		河网密度	0.0785	按单位面积河流分布密度等级分级
		年降水量	0.0315	按年降水量分级
		平均气温	0.0217	按年温差分级
		地表水质	0.0758	按危害程度及污染面积比例、质量等级分级
		地表水断流	0.0875	按河渠内有流动的水、有续存水、无水分级
人类工程活动	0.2000	土地利用类型	0.0746	按建设用地、耕地、林地、水体分级
		人口密度	0.0480	按区域人口密度等级分级
		植被指数	0.0773	按植被计算指数分级

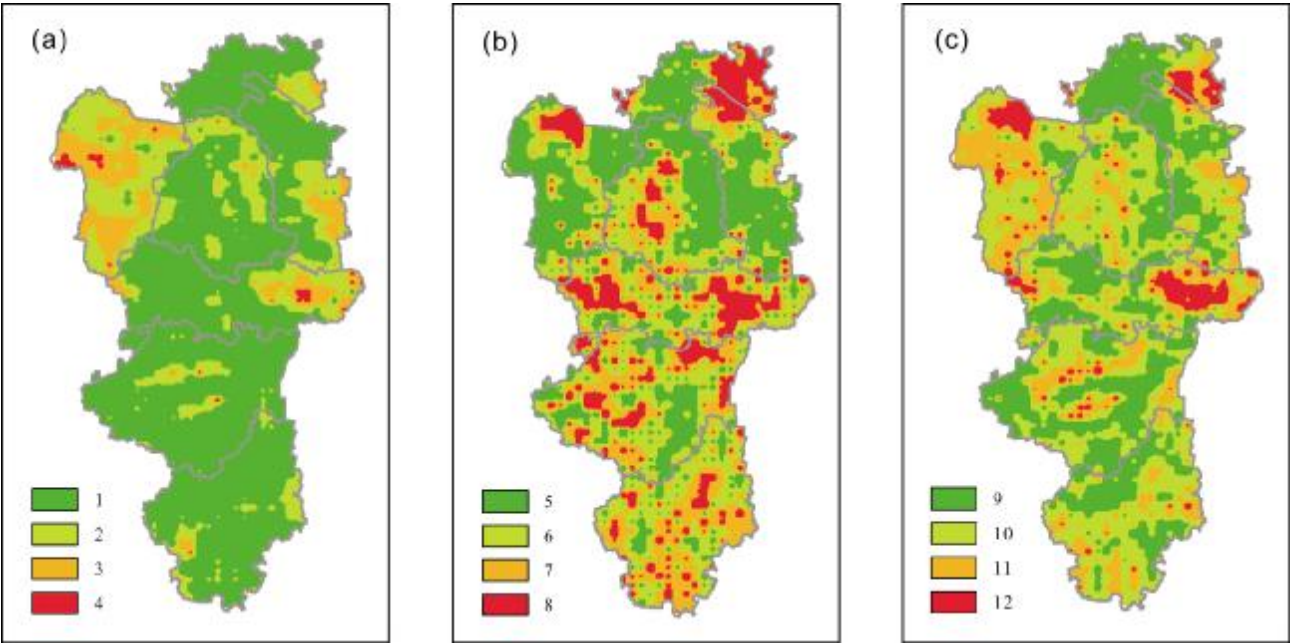


图 4 复合因子评价及生态地质脆弱性综合评价图

Fig. 4 Composite factor evaluation and comprehensive eco-geological vulnerability assessment maps

a—自然环境条件评价(natural environmental condition assessment): 1—优良区(excellent zone), 2—良好区(good zone), 3—中等区(moderate zone), 4—一般区 (general zone); b—人类工程活动评价 (human engineering activity evaluation): 5—一般区 (general impact zone), 6—中等区(moderate impact zone), 7—较强区 (strong impact zone), 8—强烈区 (severe impact zone); c—生态地质脆弱性综合评价 (comprehensive eco-geological vulnerability assessment): 9—微度脆弱区(slightly vulnerable zone), 10—轻度脆弱区(mildly vulnerable zone), 11—中度脆弱区(moderately vulnerable zone), 12—高度脆弱区(highly vulnerable zone)

七区县生态地质脆弱性定级为微度脆弱区、轻度脆弱区、中度脆弱区、高度脆弱区共 4 个生态地质脆弱区。

结果显示,廊坊市南七区县生态地质脆弱性在固安和胜芳一带主要受自然环境条件和人类工程活动共同作用,其他区域的脆弱性主要表现为人类工程活动的影响。整体看区内中北部和中南部生态地质环境良好,多为微度—轻度脆弱;西北部 and 东部生态地质环境较差,部分地区为中度—高度脆弱。其中生态地质微度脆弱区的面积为 1 742.85 km², 占总面积的 33.83%; 轻度脆弱区的面积为 2 287.51 km², 占总面积的 44.40%; 中度脆弱区的面积为 961.72 km², 占总面积的 18.67%; 高度脆弱区的面积为 159.92 km², 占总面积的 3.10%。

3.3.1 生态地质微度脆弱区

廊坊市南七区县生态地质微度脆弱主要呈片、带状分布于北部低淡水位砂性土农业区和中南部高咸水位砂性土—黏性土农业区。另外由于复杂的生态地质条件,在其他区域有零散分布的微度脆弱区。该区覆盖的乡镇主要为万庄镇、九州镇、仇庄乡、康仙庄乡、王庄子乡、东杨庄乡、滩里镇、兴隆宫镇、孙氏镇、大尚屯镇、臧屯镇等区域。

该区域地表基质类型以黏性土—砂性土为主,浅层地下水位埋深较浅,总体由北向南逐渐变浅,总体水位埋深小于 15 m。大部分区域分布有地下咸水,仅广阳区西部无地下咸水分布。包气带介质类型以黏土—粉质黏土为主。区内河网密度较高,温度适宜,降水较丰富,地形高差小。土地利用类型以林地、水体、耕地为主,地表水质较好,且无断流,植被指数多在 0.42 以上,总体生态地质条件好。

该区生态地质脆弱性的主要因素为咸水分布对农业灌溉等用水的影响。建议区域内以农业开发为主,种植耐旱作物,减少对灌溉水的依赖;加强土地资源的调查,做好土地利用规划研究,实现土地集约利用。该区域地下水埋深较浅,且大部分为咸水区,通过养殖用水源、工业用水源等方式合理开发利用浅层咸水,调控地下水位在合理范围内运行,在利用中实现排咸,持续改善生态环境;同时应充分利用区域内的河流资源,结合地区优势,发展自然生态旅游,做到自然景观与人文景观结合,促进生态文明建设。

3.3.2 生态地质轻度脆弱区

生态地质轻度脆弱区主要分布于区内中北部低淡

水位砂性土农业区和中部及南部高咸水位砂性土—黏性土农业区。同时由于植被指数较高、林地耕地等较好生态地质条件,在研究区东部、西部有零散分布的轻度脆弱区。该区覆盖的乡镇主要为宫村镇、渠沟乡、曹家务乡、龙虎庄乡、后奕镇、码头镇、德归镇、旺村镇、广安镇等区域。

该区域地表基质类型以砂性土为主,仅南部少部分区域为黏性土。浅层地下水位西北部埋藏较深,均为淡水;南部较浅,大部分区域分布有地下咸水。包气带介质类型西北部以粉土为主,南部以粉质黏土—黏土为主。区内河网密度稍高,温度适宜,降水较微度脆弱区少。地形高差较大,西北高,南部低。土地利用类型以耕地为主,地表水质西北部较差,南部较好,河流在西北部断流较严重,植被指数 0.34~0.50,总体生态地质条件较好。

影响该区生态地质脆弱性的主要因素为砂性土地表基质、粉土包气带介质、河水断流严重等。建议根据土地类型调整农业产业结构,提高土地利用率,发展生态农业,种植耐砂性作物如山药、土豆、红薯、西瓜等;加强生态保护,采取疏通河道、生态调水的方式补给地表、地下水,恢复河流生态系统;加强对咸水区的地下水开发利用途径、模式的研究,合理利用咸水,变废为宝。

3.3.3 生态地质中度脆弱区

生态地质中度脆弱区主要呈片状、环状分布于廊坊市南七区县西部低淡水位砂性土农业区与城市区过渡区域和中东部高咸水位砂性土—黏性土农业区与工业区过渡区域。同时由于地表基质类型、河网密度不同的影响,在其他地区有零散分布的带状中度脆弱区。该区覆盖的乡镇主要为东湾乡、柳泉镇、牛驼镇、马庄镇、杨芬港镇、大围河回族乡、文安镇、南赵扶镇等区域。

该区域地表基质类型以砂性土为主,仅东部少部分区域为砂。浅层地下水位西部埋藏较深,均为淡水,东南部较浅,大部分区域分布有地下咸水。包气带介质类型以粉质黏土为主。区内河网密度稍低,一般密度小于 0.58 km/km²,温度适宜,降水量略少。地形高差较大,西高东低。土地利用类型以耕地—建设用地为主。地表水质西北部较差,东部和中南部较好,河流在西部断流较严重,植被指数 0.34~0.42,总体生态地质条件一般,中度脆弱。

影响该区生态地质脆弱性的主要因素为砂性土地表基质,土地利用类型多为建筑用地,造成植被指数较低,河流断流较严重等。此区域主要为城市区、工业区与农业区过渡交叉地区,人类活动较强类。建议注重开发规模和速度的控制,处理好人与自然关系;同时对新建和边缘城市区、工业区加强管理,提高生态保护意识;开发利用地下咸水供给工业用水和城市用水,持续“排咸补淡”;不断增加植被覆盖率,跨流域调水,恢复河道水生态,持续改善地区生态质量。

3.3.4 生态地质高度脆弱区

生态地质高度脆弱区主要呈点片状分布于廊坊市南七区县西北角低淡水位砂性土城市区、东北角高咸水位砂性土城市区和中东部高咸水位砂性土-黏性土工业区,同时由于植被指数较低、建设用地等生态地质条件的限制,在西部、中部有零散分布的高度脆弱区。该区覆盖的乡镇主要为固安镇、北旺乡、胜芳镇等区域。

该区域地表基质类型以砂性土为主,西北角少部分区域为砂。浅层地下水位西北部埋藏较深,均为淡水,东北角及中东部较浅,大部分区域分布有地下咸水。包气带介质类型以粉土为主,东北角部分区域以粉砂为主。区内河网密度较低,多小于 0.36 km/km^2 。东北角城区年平均温度稍高,降水较丰富。地形高差较大,西北高,中东部低。土地利用类型以建设用地为主,地表水质西北角固安镇和中东部胜芳镇较差,南部较好,河流在西北角断流较严重,植被指数 $0.13\sim 0.34$,总体生态地质条件较差,脆弱性高。

影响该区生态地质脆弱性的主要因素为,此区域为人类活动强烈的城市区和工业区,土地利用类型为建设用地,植被指数较低,生活和工业垃圾污水直排导致地表水质较差,包气带介质为易发生物质迁移的粉土-粉砂等。建议限制开发建设活动,有效避免人为破坏,加强污水和垃圾处理设施建设,减少排污,保护植被和生态;针对胜芳镇等工业区,改进企业技术,坚持生态优先原则,防污减排,提高植被覆盖率,保护并不断恢复生态系统结构和功能,营造生态友好型企业氛围。

4 结论

(1)结合廊坊地区自然和人类活动情况,针对人类

活动强烈特点,采用以自然地质本底为基础,叠加人类活动影响,基于 GIS 技术采用层次分析法,对廊坊市南七区县生态地质脆弱性进行评价,提出了生态修复建议。

(2)查明研究区生态地质微度脆弱区的面积为 $1\,742.85 \text{ km}^2$,占总面积的 33.83% ;轻度脆弱区的面积为 $2\,287.51 \text{ km}^2$,占总面积的 44.40% ;中度脆弱区的面积为 961.72 km^2 ,占总面积的 18.67% ;高度脆弱区的面积为 159.92 km^2 ,占总面积的 3.10% 。

(3)廊坊市南七区县微度-轻度脆弱区影响因素主要是咸水区、地表基质、包气带介质类型等自然环境质量条件。建议根据自然条件开展农业种植和养殖,进行自然修复与发展;中度-高度脆弱区影响因素主要是人类活动以及地表水质、植被指数、河流断流等自然环境质量条件的影响,建议限制人类开发规模,提高保护意识,调整产业结构,营造生态友好型企业,进行人工修复与发展。

参考文献(References):

- [1]徐飞,焦玉国,唐丽伟,等.泰安市山水林田湖草生态修复区生态脆弱性评价与生态修复对策研究[J].现代地质,2023,37(4):892-902.
Xu F, Jiao Y G, Tang L W, et al. Ecological vulnerability evaluation and countermeasures of ecological restoration in ecological restoration areas of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands, Tai'an city[J]. Geoscience, 2023, 37(4): 892-902.
- [2]钟业喜,邵海雁,徐晨璐,等.基于文献计量分析的流域山水林田湖草生命共同体研究进展与展望[J].江西师范大学学报(自然科学版),2020,44(1):95-101.
Zhong Y X, Shao H Y, Xu C L, et al. The research progress and prospect of life community of mountain, river, forest, farmland, lake and grassland in watershed based on bibliometric analysis[J]. Journal of Jiangxi Normal University (Natural Science Edition), 2020, 44(1): 95-101.
- [3]周宏春,宋智慧,刘云飞,等.生态文明建设评价指标体系评析、比较与改进[J].生态经济,2019,35(8):213-222.
Zhou H C, Song Z H, Liu Y F, et al. The Evaluation, comparison and improvement of index for eco-civilization construction[J]. Ecological Economy, 2019, 35(8): 213-222.
- [4]李涛,唐涛,邓红兵,等.湖北省三峡地区山水林田湖草系统原理及生态保护修复研究[J].生态学报,2019,39(23):8896-8902.
Li T, Tang T, Deng H B, et al. Ecological theory and restoration practices of the mountain-river-forest-farmland-lake-grasslands system in the Three Gorges area of Hubei province[J]. Acta Ecologica Sinica,

- 2019, 39(23): 8896–8902.
- [5] 伍伟. 生态文明背景下云南省绿色矿山评价方法[J]. 地质与资源, 2024, 33(2): 254–266. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.02.015.
- Wu W. Evaluation method for green mines in Yunnan Province under the background of ecological civilization[J]. Geology and Resources, 2024, 33(2): 254–266. DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2024.02.015.
- [6] 孙张涛, 余正伟, 舒思齐, 等. 中国省域生态系统服务价值评价与生态地质调查工作建议[J]. 中国地质, 2023, 50(2): 479–494.
- Sun Z T, Yu Z W, Shu S Q, et al. Evaluation of ecosystem services of Chinese provincial land and suggestions for ecological geological survey[J]. Geology in China, 2023, 50(2): 479–494.
- [7] 金岚, 王振堂, 朱袖丽, 等. 环境生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- Jin L, Wang Z T, Zhu X L, et al. Environmental ecology [M]. Beijing: Higher Education Press, 1992. (in Chinese)
- [8] 汪振立, 张恋, 罗建林, 等. 江西赣县吉埠贡芋品质与生态地质环境关系讨论[J/OL]. 中国地质, <http://geochina.cgs.gov.cn/cn/article/doi/10.12029/gc20220826001>, 2023.
- Wang Z L, Zhang L, Luo J L, et al. Discussion on the relationship between taro quality and eco-geological environment in Jibu, Ganxian County, Jiangxi Province[J/OL]. Geology in China, <http://geochina.cgs.gov.cn/cn/article/doi/10.12029/gc20220826001>, 2023.
- [9] 阳次中. 3S 技术支持下的黄山风景区生态地质环境敏感性分析[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2013.
- Yang C Z. Sensitivity analysis of eco-geological environment in the Huangshan scenic area based on 3S technology [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2013.
- [10] 戚向阳, 王春, 黄震, 等. 层次分析和模糊综合评价在地质环境质量评价中的应用实践[J]. 中国锰业, 2017, 35(1): 131–133.
- Qing X Y, Wang C, Huang Z, et al. An application of analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation in geological environmental quality assessment [J]. China Manganese Industry, 2017, 35(1): 131–133.
- [11] 李明. 盐边县桐子林镇生态地质环境质量评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2017.
- Li M. Evaluation on ecological geological environment quality of Tongzilin Town in Yanbian County[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2017.
- [12] 谷晓阳. 基于 GIS 技术的宁国市生态地质环境评价[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- Gu X Y. Evaluation of eco-geological environment in Ningguo City based on GIS[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017.
- [13] 马健钧. 基于 GIS 技术的盐源县生态地质环境质量评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2020.
- Ma J J. Evaluation of ecological geological environment quality in Yanyuan county based on GIS technology [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2020.
- [14] 海热提, 王文兴. 生态环境评价、规划与管理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- Haireti, Wang W X. Ecological environment assessment, planning, and management [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004. (in Chinese)
- [15] 郑长远, 张启兴, 贾君, 等. 层次分析法在长江源区生态地质环境质量(脆弱性)评价中的应用[J]. 西北地质, 2010, 43(1): 137–145.
- Zheng C Y, Zhang Q X, Jia J, et al. The application of analytic hierarchy process (AHP) in source region of the Yangtze River's geological environment quality (vulnerabilities) evaluation [J]. Northwestern Geology, 2010, 43(1): 137–145.
- [16] 秦娜, 董方营, 成文举, 等. 基于 GIS 加权叠加的南四湖流域地质环境质量评价[J]. 人民长江, 2022, 53(1): 104–109.
- Qin N, Dong F Y, Cheng W J, et al. Geological environment quality evaluation of four lakes in southern Shandong Province based on GIS weighted superposition[J]. Yangtze River, 2022, 53(1): 104–109.
- [17] 王幻麒. 基于综合评判法的丹寨县生态环境地质质量评价[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2020.
- Wang H Q. Evaluation of eco-environmental geological quality in Danzhai County based on comprehensive evaluation method [D]. Guilin: Guilin University of Technology, 2020.
- [18] 钟路远. 金川县生态地质环境质量评价研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2020.
- Zhong L Y. Research on evaluation of eco-geological environment quality in Jinchuan[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2020.
- [19] 杨泽, 于慧明, 罗银花, 等. 基于模糊层次分析法-粒子群优化模型的浅层地热能适宜性区划研究[J]. 地质与资源, 2023, 32(4): 427–434, 382.
- Yang Z, Yu H M, Luo Y H, et al. Shallow geothermal energy suitability zoning based on fuzzy analytic hierarchy process-particle swarm optimization model[J]. Geology and Resources, 2023, 32(4): 427–434, 382.
- [20] 孙翊翔, 贾俊, 张茂省, 等. 基于斜坡单元下的 AHP-信息量法在地质灾害易发性评价中的应用[J]. 地质与资源, 2022, 31(6): 811–820, 832.
- Sun Y X, Jia J, Zhang M S, et al. Application of AHP-information method in geological hazard susceptibility evaluation based on slope unit[J]. Geology and Resources, 2022, 31(6): 811–820, 832.