

doi: 10.12029/gc20210924001

宋志, 韩剑侠, 倪化勇, 王东辉, 黄天驹. 2023. 四川省成-德-眉-资同城化建设国土空间开发保护规划研究[J]. 中国地质, 50(4): 1044-1057.
Song Zhi, Han Jianxia, Ni Huayong, Wang Donghui, Huang Tianju. 2023. Research on the development protection planning of the national space in the Chengdu-Deyang-Meishan-Ziyang urban group constructions[J]. Geology in China, 50(4):1044-1057 (in Chinese with English abstract).

四川省成-德-眉-资同城化建设国土空间开发保护 规划研究

宋志^{1,2,3}, 韩剑侠⁴, 倪化勇⁵, 王东辉², 黄天驹²

(1. 成都理工大学旅游与城乡规划学院, 四川 成都 610059; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 3. 山东科技大学地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 4. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第二地质大队, 西藏 拉萨 850000; 5. 中国地质调查局探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

提要:【研究目的】本文旨在开展成-德-眉-资同城化建设区(四川省成都市、德阳市、眉山市、资阳市)生态安全、环境保护、农业生产、城镇建设的资源环境禀赋条件研究,初步提出国土空间开发保护策略。【研究方法】通过系统整理研究区以往地质调查等研究成果。【研究结果】成-德-眉-资同城化区资源环境条件总体较好,生态保护极重要区呈“东北向、三廊道”的空间特征,近30年来近80%地区生态空间维持良好,且生态空间增加区略大于减少区,生态功能逐年增强。大气环境较好,河流与地下水水质处于一般,河流水质总体“上游优、下游劣”,地下水劣V类水呈“城区大集中、城周小分散”的分布特征。农业生产适宜区分布广、集中连片,水土资源组合条件好,土壤养分、环境质量总体为优良,大部分地区含硒元素,局部为富硒地区。城镇建设适宜区分布广,水土资源禀赋较好,同时面临地震与地质灾害、洪涝的灾害风险。【结论】基于自然地理格局的相似性,建议成-德-眉-资同城化区形成一体化国土空间开发保护格局,打造区域性生态先行示范区,建立集中连片高标准农田示范区,规避自然灾害,优化空间格局,打造多中心、网络化、组团式的城镇化体系。

关键词:国土空间规划;生态安全;环境保护;农业生产;城镇建设;成-德-眉-资同城化;城市地质调查工程;四川省
创新点:本文系统整理了成-德-眉-资同城化建设区以往地质调查等研究成果,并从自然地理格局与资源环境特征方面为成-德-眉-资同城化区提出国土空间开发保护策略。

中图分类号: P694 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2023)04-1044-14

Research on the development protection planning of the national space in the Chengdu-Deyang-Meishan-Ziyang urban group constructions

SONG Zhi^{1,2,3}, HAN Jianxia⁴, NI Huayong⁵, WANG Donghui², HUANG Tianju²

(1. School of Tourism and Urban-rural Planning, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3. School of Earth Science and Engineering,

收稿日期: 2021-09-24; 改回日期: 2021-11-07

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20230498)资助。

作者简介: 宋志, 男, 1982年生, 博士, 正高级工程师, 主要从事国土空间规划与生态修复; E-mail: 35842126@qq.com。

Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong, China; 4. No.2 Geological Party, Tibet Autonomous Region Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Lhasa 850000, Tibet, China; 5. Institute of Exploration Technology, China Geological Survey, Chengdu 611734, Sichuan, China)

Abstract: This paper is the result of urban geological survey engineering.

[Objective] This paper aims to develop the study of natural resources endowment in ecological security, environmental protection, agricultural production and urban construction in Chengdu–Deyang–Meishan–Ziyang urbanization construction area, and propose the protection strategy of territory development preliminarily. **[Methods]** This paper is carried by systematically organizing the research results of previous geological surveys in the study area. **[Results]** The research shows that the resources and environmental conditions of the Chengdu–Deyang–Meishan–Ziyang urban groups are generally good, and the most important ecological protection area presents the spatial characteristics of "northeast orientation and three corridors". In the past 30 years, nearly 80% of the area has maintained good ecological space. In addition, the ecological space increase area is slightly larger than the decrease area, and the ecological function is strengthened year by year. The atmospheric environment is relatively good, the water quality of rivers and groundwater is on average, the water quality of rivers presents the spatial characteristics of "good upstream and poor downstream", and the groundwater which is Grade 5th of NSWS presents the spatial characteristics of "concentrated in urban area and scattered around urban area". Suitable areas for agricultural production are widely distributed, concentrated and contiguous, with good combination of water and soil resources overall good soil nutrients and environmental quality. Most areas contain selenium, and some are selenium-rich areas. Suitable areas for urban construction are also widely distributed, with good endowment of water and soil resources, but those areas are at the risk of earthquakes and geological disasters. **[Conclusions]** Based on the similarity of natural geographic patterns, it is suggested that the Chengdu–Deyang–Meishan–Ziyang urban groups should form an integrated land space development, and protection pattern create a regional ecological pilot demonstration area. It also needs to establish a concentrated and contiguous high-standard farmland demonstration area to avoid natural disasters. It is suggested to optimize the spatial pattern and create a multi-center, networked and group-style urbanization system.

Key words: national space planning; ecological security; environmental protection; agricultural production; urban construction; Chengdu–Deyang–Meishan–Ziyang urban group construction; urban geological survey engineering; Sichuan Province

Highlights: This paper systematically organized the research results of previous geological surveys in the Chengdu–Deyang–Meishan–Ziyang urbanization construction area, and proposed strategies for the development and protection of territorial space in the Chengdu–Deyang–Meishan–Ziyang urbanization construction area in terms of the physical geographic pattern and the characteristics of the resources and the environment.

About the first author: SONG Zhi, born in 1982, male, Ph.D., professor level senior engineer, mainly engaged in territorial spatial planning and ecological restoration; E-mail: 35842126@qq.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No.DD20211402).

1 引言

2018年,四川提出推动成都、德阳、眉山、资阳4市同城化发展,旨在通过整个成都平原经济区的一体化发展,带动全省的高质量发展。2020年,随着成渝地区双城经济圈建设不断推进,成-德-眉-资同城化区发展进一步加速(孙书毓和卢黎霞,2021)。

2004年以来中国地质调查局先后组织开展了成都市多要素城市地质调查、川东北城市群以及成

渝城市群主要城市地质环境综合调查评价、土地质量地球化学调查等^{①②}(中国地质调查局,2018),形成了相关成果。为支撑服务成-德-眉-资同城化建设区国土空间开发保护,本文系统梳理了区内的地质调查成果,分析并研究了自然资源条件、生态安全、环境保护、农业生产、城镇建设等,从自然地理格局与资源环境特征方面为成德眉资同城化区规划、用途管制、生态修复等国土空间开发保护提供相关依据,也为相关国土空间开发保护提供参考方法(宋志等,2020)。

2 研究区概述

成-德-眉-资同城化区主体位于四川盆地(图1),总体地势西北高、东南低,地形相对平缓,以平原、台地为主。气候属于季风副热带,年均降雨量约1000 mm,春暖秋凉,四季分明。地壳总体稳定(董顺利等,2008),岩性以红色砂岩、泥岩为主,地震基本烈度为Ⅶ度,地震动峰值加速度为0.05 g至0.10 g(王羽珂等,2019)。区内水系发育,处于岷江、沱江流域,水资源相对丰富,以地表水为主(郑义加,2005),除资阳外,水资源模数处于四川盆地丰富区,但开发利用效率普遍低于50%。成都、德阳地下水资源相对丰富,而资阳相对贫乏,但开发利用效率最高(宋志等,2021)。油气资源较为丰富,可开采储量超过 $1 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 以上,矿产资源以芒硝、水泥用灰岩为主,分布铁、钾盐等大宗紧缺矿产资源。地热资源主要分布在西北龙门山、东南眉山—资阳等区域,地热井显示温度较高,禀赋较好,其他风能、太阳能、水能等资源一般。耕地资源较为丰富,以水田为主,水土资源组合条件优越,是主要的

粮食产区。林地湿地等资源相对丰富,林地以有林地为主,分布于龙门山、龙泉山等山地区,湿地以人工、河流、河流为主,分布较为密集。地质遗迹广泛分布于西部,风景名胜区、湿地公园、森林公园等分布较为密集与均衡。从国土空间开发保护现状上,区内自然地理格局总体利于城镇开发,水资源、油气资源、地热资源有进一步开发潜力,需重点保护优质耕地、生态要素(成金华和尤喆,2019)。

3 国土空间开发保护策略研究

国土是生态文明建设的空间载体,需要完善区域协调格局,优先确定生态保护空间,开展环境保护,保障农业空间,发展城镇空间,从策略研究上科学合理部署国土空间开发保护空间,促进区域绿色保护与高质量发展(王西琴等,2009;林燕等,2021)。

3.1 生态安全

生态安全以生态保护重要性评价为重要依据,分为极重要、重要、一般区,其中生态保护极重要区是生态保护红线划定的基础,也是生态格局的科学

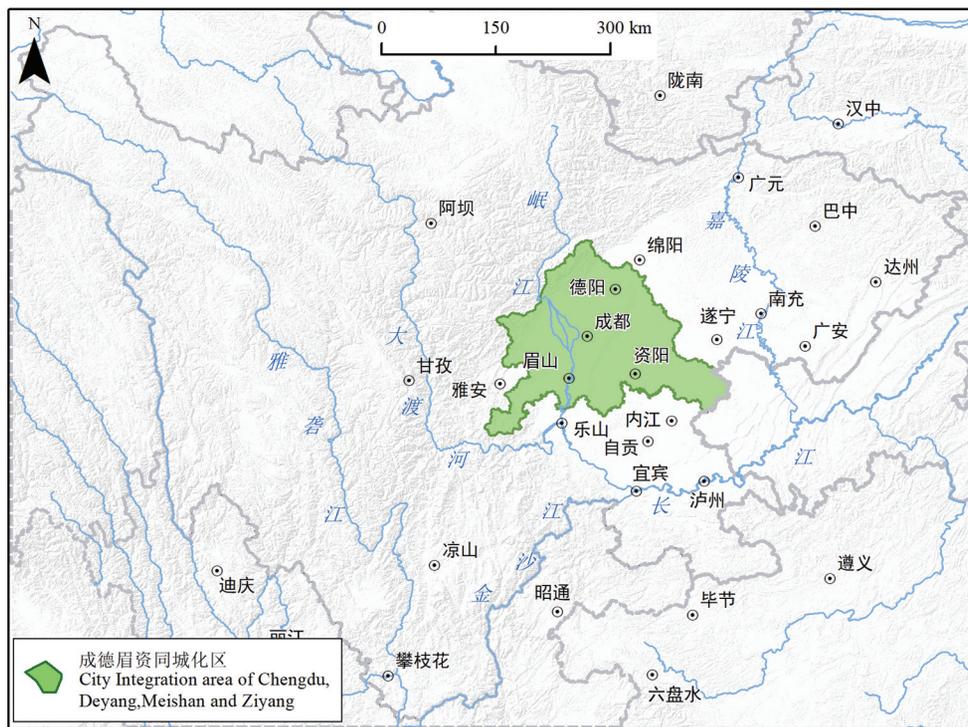


图1 研究区位置示意图

Fig.1 Location map of the study area

依据(周道静等,2020;孙张涛等,2023)。此外,本节还开展成-德-眉-资同城化区生态空间历史演变趋势分析、重要生态功能识别,进一步掌握区内生态安全状况。

3.1.1 生态格局

成-德-眉-资同城化区生态极重要区呈现“东北向”,是由受构造形迹形成的主要山体区,“三廊道”分别为都江堰—雅安的龙门山区,蒲江—洪雅的高山区、罗江—龙泉—青神的龙泉山区(图2)。区内生态保护极重要区分布8140 km²,面积占同城化区的24.57%,远低于四川省生态保护极重要区的面积占比43.59%。生态保护一般区面积占比近50%,总体上,生态保护为较重要程度,同城化主体区生态保护重要性程度多为一般,有利于在与生态不冲突下,开展城镇建设与农业生产。

3.1.2 生态空间

生态空间包括森林、草地、湿地、水域等具有生态功能类型。通过1980—2018年土地利用覆盖类型数据对比分析,成-德-眉-资同城化区生态保护成效较为显著。生态空间维持区面积占比77.07%(图3),主要分布在北东向主要山体区,生态空间增

加区面积占比11.71%,主要分布在龙门山什邡西部、崇州西北部、简阳周边等地,生态功能逐步增强;生态空间减少区面积占比11.22%,略低于生态增加区,主要分布在龙门山局部、德阳中心城区东部、洪雅县南部等地,需重点关注,加强生态保护修复等举措。近30年来,区内生态保护成效较为显著,近80%地区生态空间维持良好,且生态空间增加区略大于减少区,生态功能逐年增强。

3.1.3 生态功能

生态系统服务功能是生态系统过程对外部显示的重要作用,而生态敏感区是产生生态负面效应的地区。结合成渝地区双城经济圈等相关研究成果,对成-德-眉-资同城化区进行单因子分析,得出区内生态系统服务功能以水源涵养、生物多样性为主,存在水土流失等生态敏感区。

生物多样性极重要区面积占比9.80%,重要区面积占比18.21%,主要分布在龙门山、邛崃山等地区(图4),该区域大熊猫种群数量多,栖息地保存好,金丝猴、牛羚、雉鹑、绿尾虹雉等特有种及国家重点保护物种种群数量大,分布集中。

水源涵养极重要区面积占比16.13%,重要区面

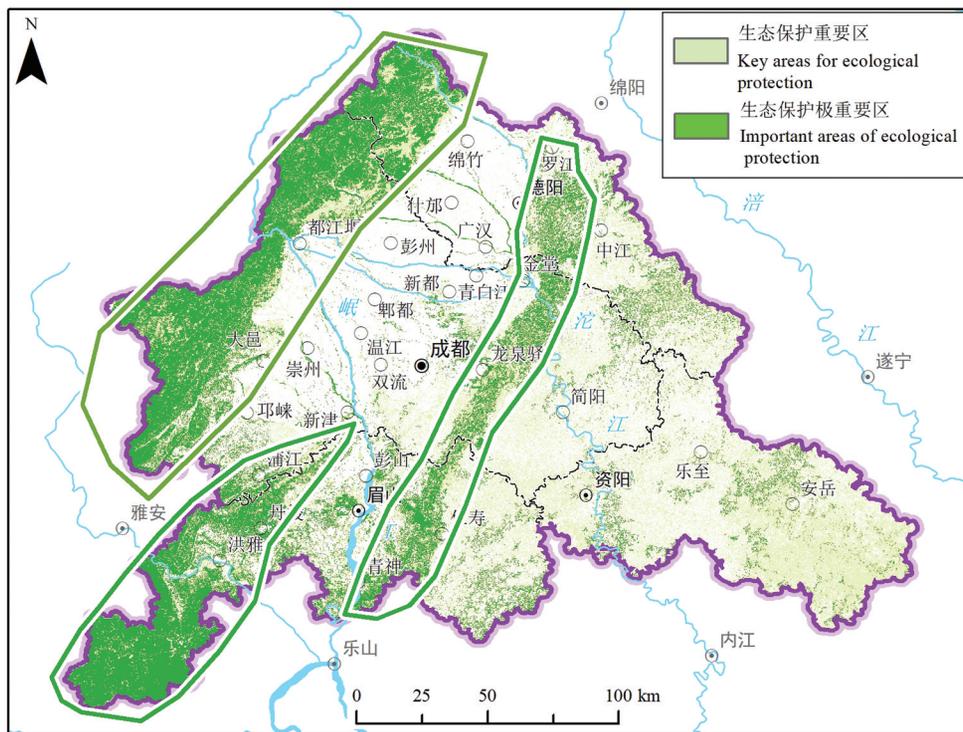


图2 生态保护重要性评价结果图

Fig.2 Evaluation results of the importance of ecological protection

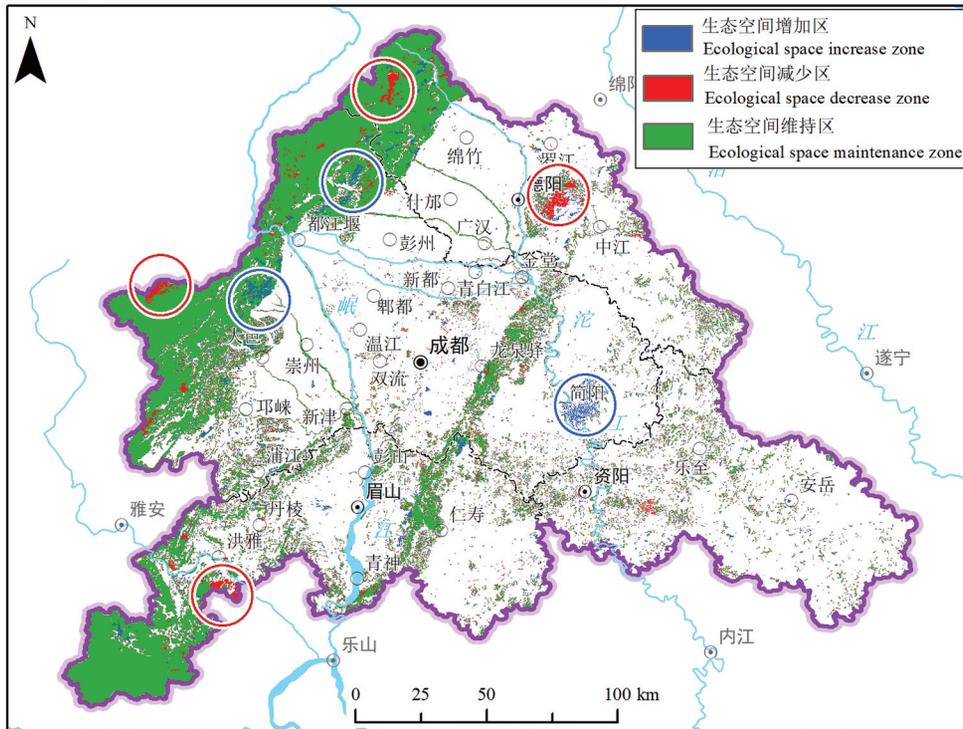


图3 生态空间变化图
Fig.3 Variation diagram of ecological spatial

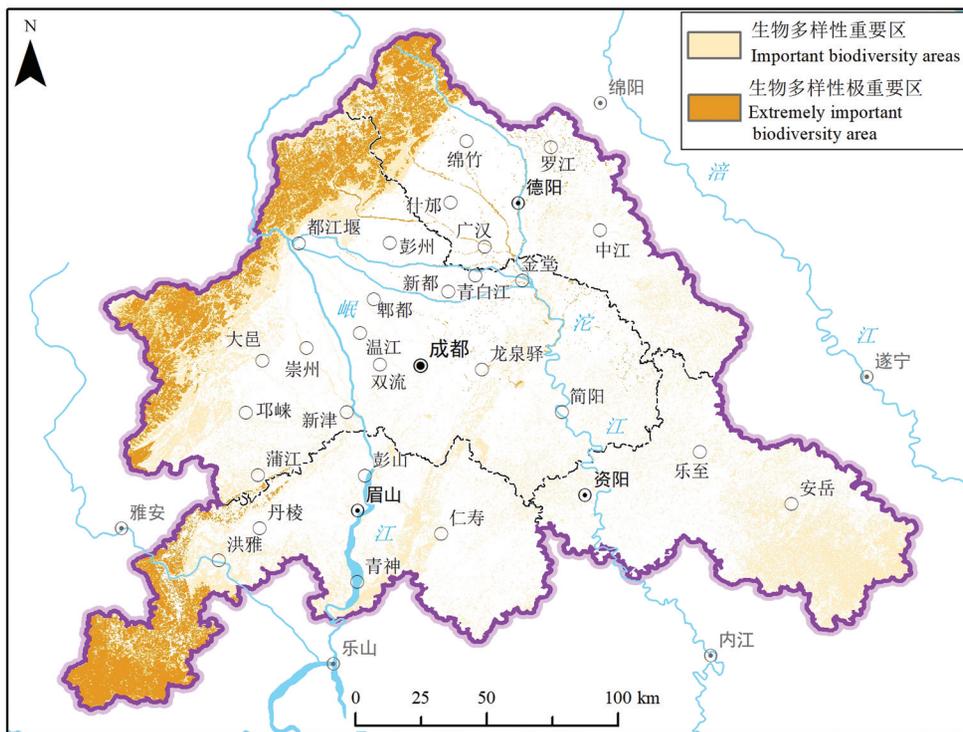


图4 生物多样性重要性评价图
Fig.4 Evaluation diagram of biodiversity importance

积占比 12.10%, 主要分布在西北部龙门山区、蒲江—洪雅、龙泉等地(图 5)。

水土流失极敏感区面积占比 8.36%, 敏感区面积占比 12.10%, 全区均有分布, 主要集中在绵竹—都江堰西北部、德阳—龙泉—仁寿等地, 其中资阳大部分地区水土流失面积占比大于 50%, 需重点关注(图 6)。

3.2 环境保护

同城化区具有盆地地形闭塞、河流水系发育、平原地下水丰富等特征, 选取大气环境、河流水质、地下水水质为环境评价指标, 分析区内环境状况以及相关保护策略。

3.2.1 大气环境

同城化区 2018 年城市空气质量平均优良天数为 84.8%, 同比上升 2.6%。区内二氧化硫(SO₂)总体年均浓度下降 10%以上, 均达到一级标准。二氧化氮(NO₂)总体年均下降近 5%, 但成都市年均浓度超标, 超标倍数为 0.2 倍。可吸入颗粒物(PM₂)总体年均下降约 7%, 但成都、德阳城市超标, 超标倍数为 0.03~0.16 倍。细颗粒物(PM_{2.5})同城化区城市

均超标, 超标倍数为 0.03~0.54 倍。一氧化碳(CO)浓度下降约 7%, 区内城市均达标。臭氧(O₃)浓度同比上涨近 3%, 但成都、眉山浓度超标, 超标倍数为 0.04~0.06 倍(卢宁生等, 2021)。酸雨状况总体保持稳定, 降水 pH 均值为 5.78, 但德阳存在酸雨可能。综上, 大气环境总体为良好以上, 但需整体关注细颗粒物, 局部需防范可吸入颗粒物、臭氧等(阮晨等, 2008; 魏海川, 2018)。

3.2.2 河流水质

同城化区内主要为岷江和沱江水系, 其中 2018 年岷江水系总体水质较好, 优良水质比例为 74.4%, 而沱江水系水质总体一般, 优良水质比例仅为 47.2%(图 7)。从河流水质污染上, 岷江干流均为优良, 支流仅在郫都—成都—眉山段出现轻度—中度污染(冯香荣等, 2017), 而沱江干流上游多为轻度污染, 仅在下游为良好, 沱江支流基本为轻度污染, 其中资阳地区九曲河、球溪河等地呈重度污染, 需重点关注(刘源, 1986)。区内河流水质呈现“上游优、下游劣”的分布特征, 建议加强河流流经城市的生活污水排放、工业废水限排等举措, 减轻人类活

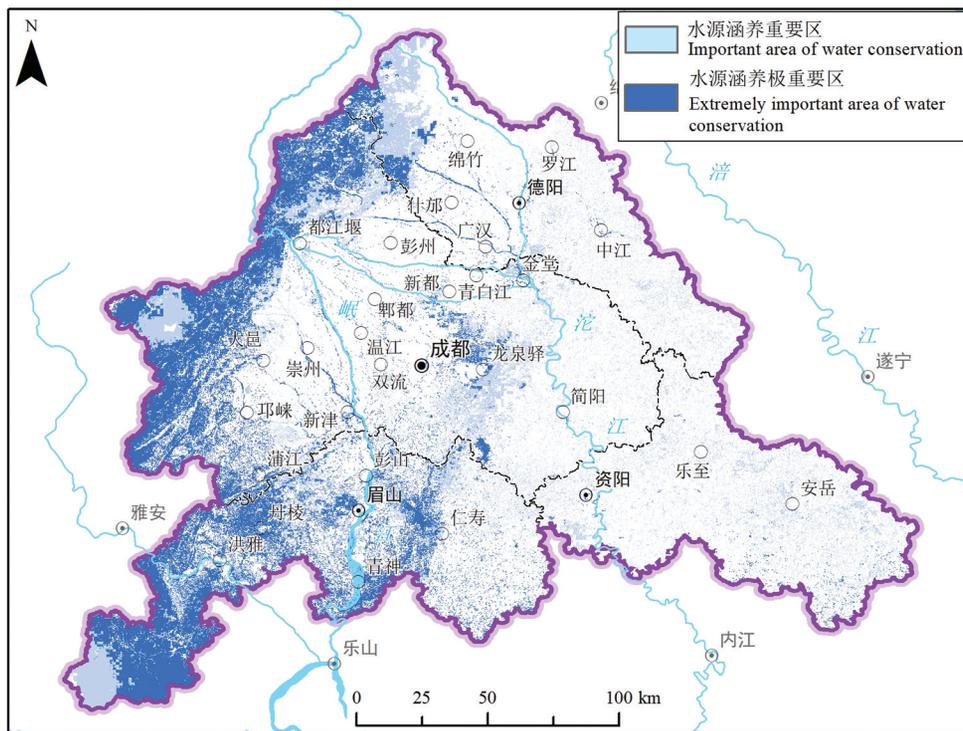


图 5 水源涵养重要性评价图

Fig.5 Evaluation diagram of water conservation importance

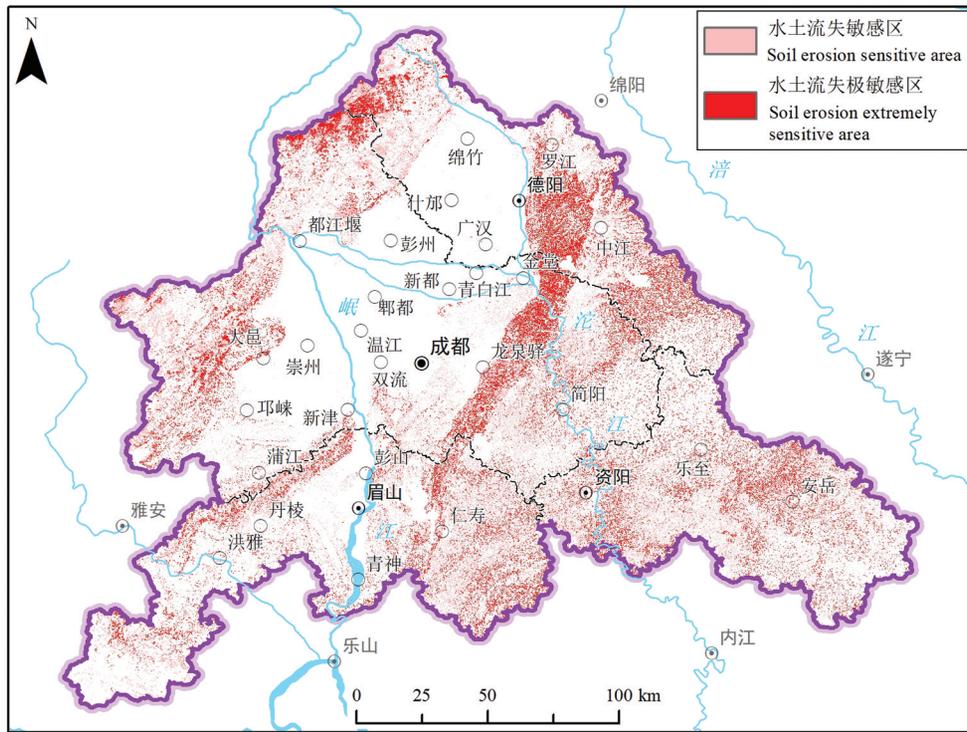


图6 水土流失敏感性评价图
Fig.6 Evaluation diagram of soil erosion sensitivity

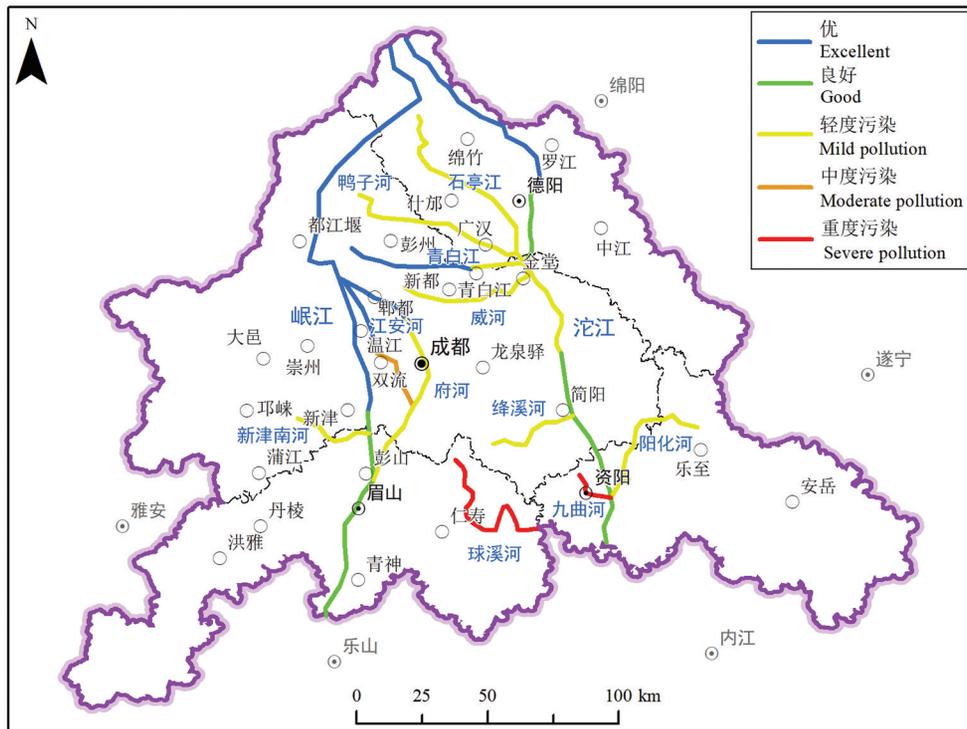


图7 河流水质状况图
Fig.7 Map of water quality of river

动对河流环境影响。综上,河流水质总体一般,呈“上游优、下游劣”的分布特征,需重点关注沱江下游支流污染问题。

3.2.3 地下水水质

通过2014—2016年的310个地下水取样分析,同城化区地下水水质一般,I—Ⅲ类水占比43.23%、Ⅳ类水占比41.61%、Ⅴ类水占比15.16%,约50%以上为不达标。Ⅴ类水呈现“城区大集中、城周小分散”的特征,成都、青白江、双流、眉山等中心城区Ⅴ类水分布频率高,而其他Ⅴ类水多位于城区5 km范围内(图8)。区内地下水水质与城市布局密切相关,建议优化工业、垃圾场等国土空间布局,加强污染物的环保处理能力(黄长生等,2021)。综上,地下水水质总体一般,呈“城区大集中、城周小分散”的分布特征,建议优化工业、垃圾场等国土空间布局。

3.3 农业生产

农业生产适宜性是以水、土、光、热组合条件为基础,结合土壤环境质量等因素进行综合评价,得出农业生产的人类活动适宜程度,分为适宜、一般适宜、不适宜3个等级,代表农业生产条件由优到劣(周

侃等,2021)。此外,本节还开展土壤养分、富硒等分析,评价分析区内农业生产的优质开发保护区。

3.3.1 农业适宜性

同城化区农业生产适宜区分布27401 km²,面积占比82.39%,一般适宜区分布2360 km²,面积占比7.12%,不适宜区面积仅约10%,主要分布在西部龙门山区以及中部局部(图9)。同城化区农业生产适宜区分布广,集中连片,水土资源组合条件好,适宜大力发展种植业,在不与生态保护红线、城镇建设、重大工程等冲突下,优先打造高标准基本农田,保障国家粮食安全。

3.3.2 土壤地球化学

同城化区土壤养分以中等—较丰富为主,无缺乏区,土壤综合等级均为风险低和风险可控,土壤质量以良好—优质为主,无差劣等级,总体上土壤质量优良,适宜种植业发展。同城化区硒元素以适量为主,其中德阳—绵竹、成都南部、洪雅南部等地为富硒地区,分布约153 km²(图10),适宜发展富硒产业。综上,区内土壤养分、环境质量总体为优良,大部分地区含硒元素,德阳—绵竹、成都南部、洪雅

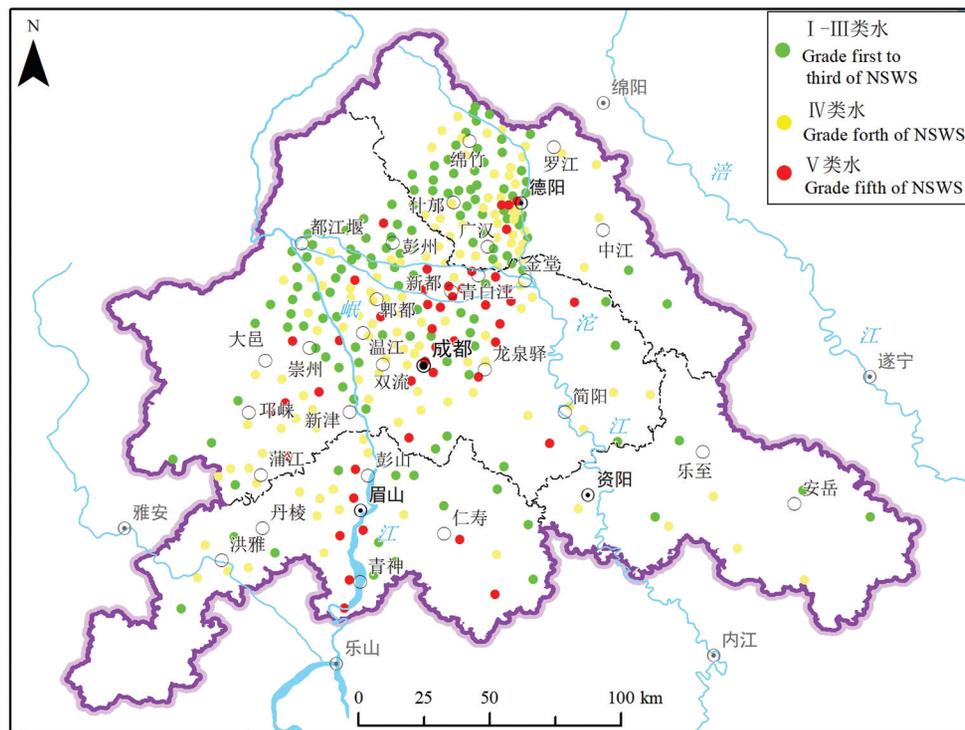


图8 地下水水质状况图

Fig.8 Map of groundwater quality

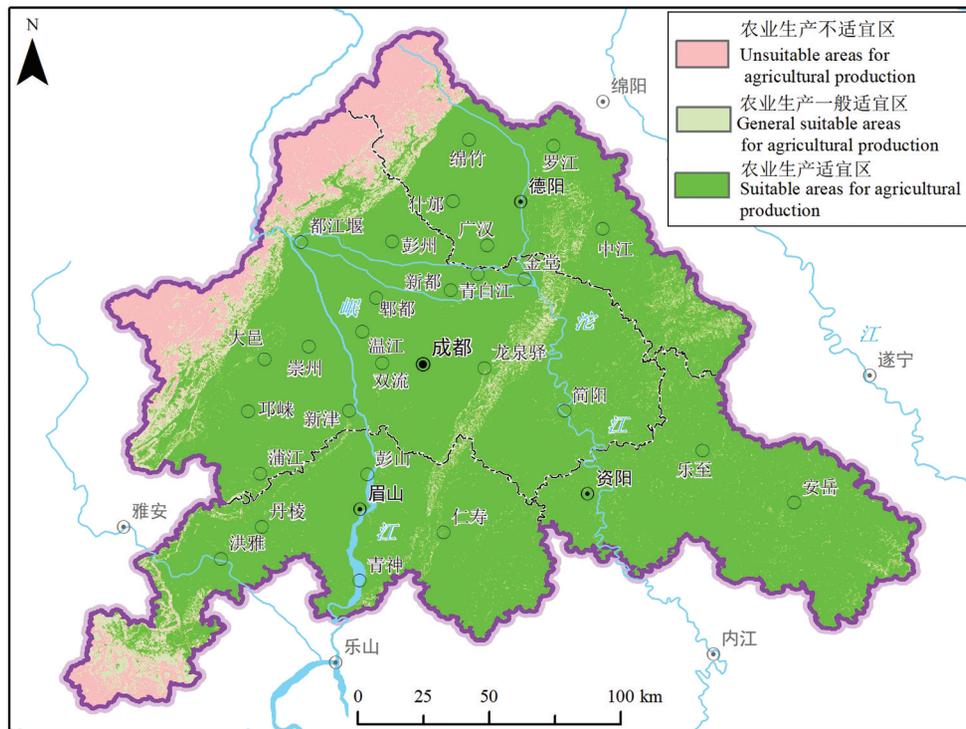


图9 农业生产适宜性评价图
Fig.9 Evaluation diagram of suit ability of agricultural production

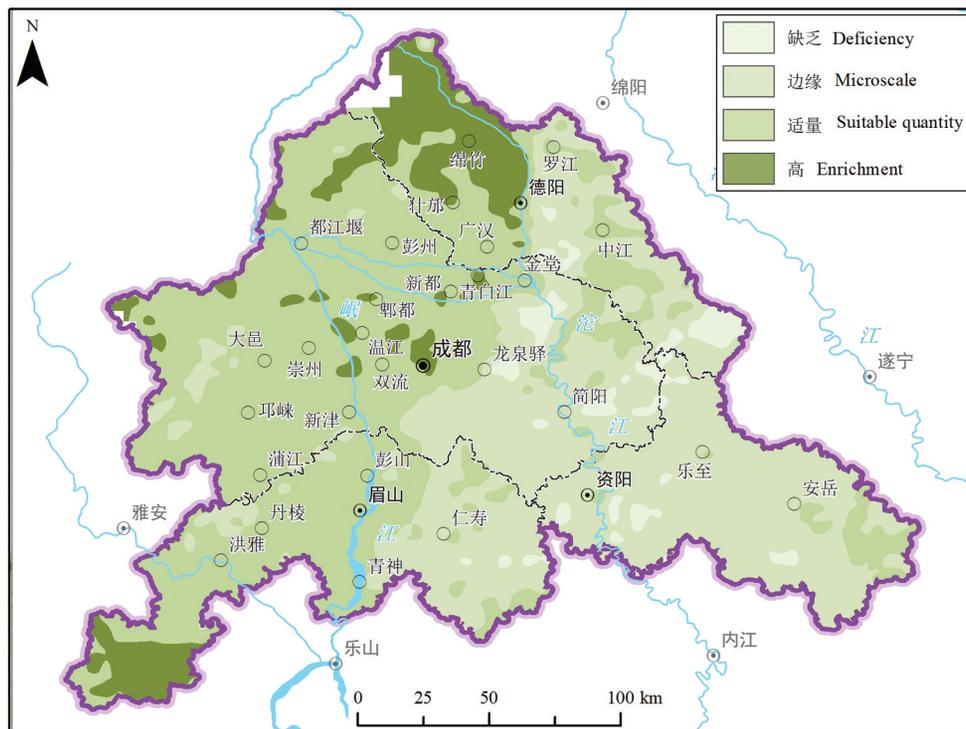


图10 土壤硒元素评价等级图
Fig.10 Evaluation diagram of selenium in soil

南部为富硒地区,适宜发展富硒产业。

3.4 城镇建设

城镇建设适宜性是通过土地、水、环境、灾害等因子进行综合评价,得出城镇建设的人类活动适宜程度,分为适宜、一般适宜、不适宜3个等级,代表城镇建设条件由优到劣。此外,本节还开展地震、地质灾害、洪涝等灾害分析,评价分析区内城镇建设需重点关注区域。

3.4.1 城镇适宜性

从自然地理格局上,同城化主体区地形平缓,水资源较为丰富,舒适度较高,灾害风险程度较低,城镇建设适宜区分布 27437 km²,面积占比达 82.80%,一般适宜区分布 3081 km²,面积占比 9.30%,不适宜区仅为 7.90%,主要分布在西部山区(图 11)。同城化区适宜区分布广、集中连片,有利于多中心、网络化、组团式的城镇化空间格局,建议除西部盆地周边外,将其他区县优先列入国家级城市化发展区(魏伟等,2021)。综上,城镇建设适宜区分布广、集中连片,水土资源禀赋较好,灾害风险程度较低,利于形成多中心、网络化、组团式的城镇

化空间格局。

3.4.2 自然灾害

成-德-眉-资同城化区地壳总体稳定,地震动峰值加速度为 0.05 g~0.1 g,但西部龙门山区地震动峰值加速度达 0.2 g,地壳活动较为强烈。从历史地震上,西部龙门山绵竹—都江堰—大邑等地地震频发、地震高,显著区别于其他地区(图 12),是城镇建设地震灾害的防治重点。

地质灾害类型为滑坡、崩塌、泥石流(姜月华等,2017),分布数量分别约为 1600 处、1300 处、200 处,滑坡主要分布在龙门山区、龙泉山区等地(郭子奇等,2019),崩塌主要分布在龙门山区、资阳东部,规模较小,泥石流均分布在龙门山高山区(图 13)。

成-德-眉-资同城化区洪涝是发生频率最高、危害最重的气象灾害,受西太平洋副热带高压,加上西南低空急流,每年 7—8 月就会进入暴雨频发期(图 14)。从暴雨洪涝风险评价上,高风险区主要分布在岷江下游温江—眉山段,需重点防范。

综上,区内城镇建设面临的自然灾害总体程度较低,但龙门山区地震与地质灾害、岷江下游洪涝

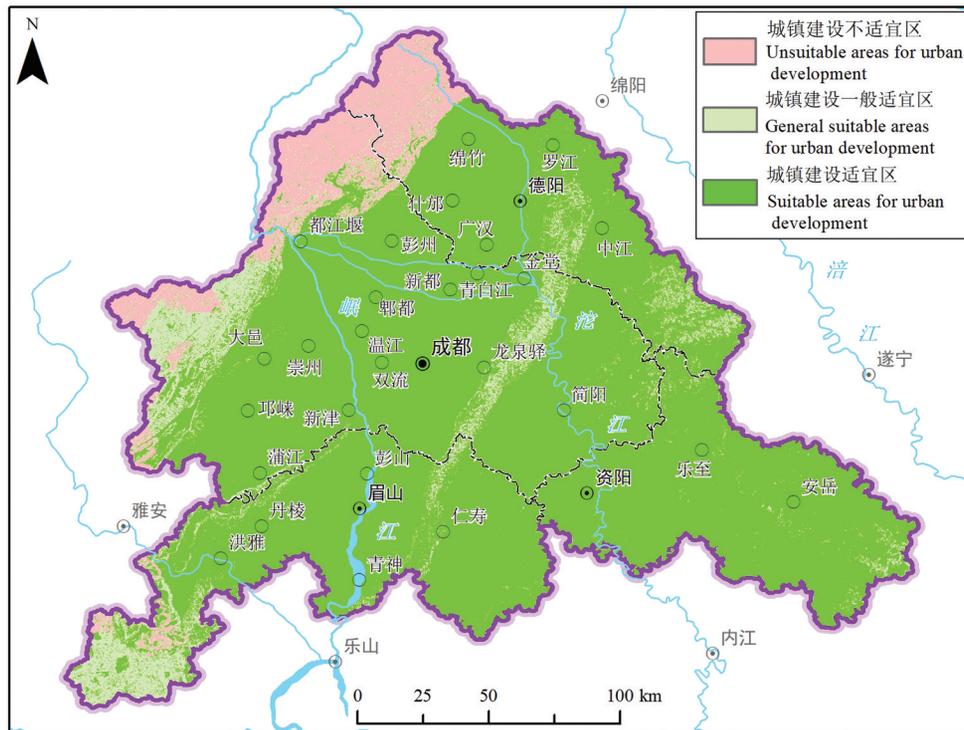


图 11 城镇建设适宜性评价图

Fig.11 Evaluation diagram of suit ability of urban construction

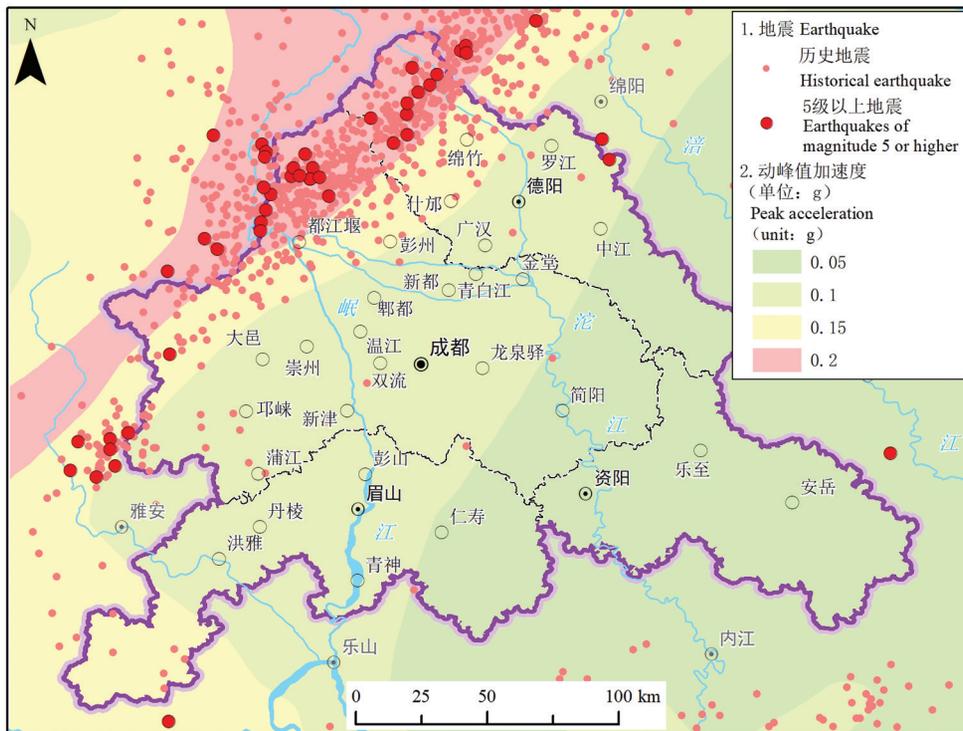


图 12 历史地震分布与动峰值区划图
 Fig.12 Distribution of historical earthquake and dynamic peak zoning map

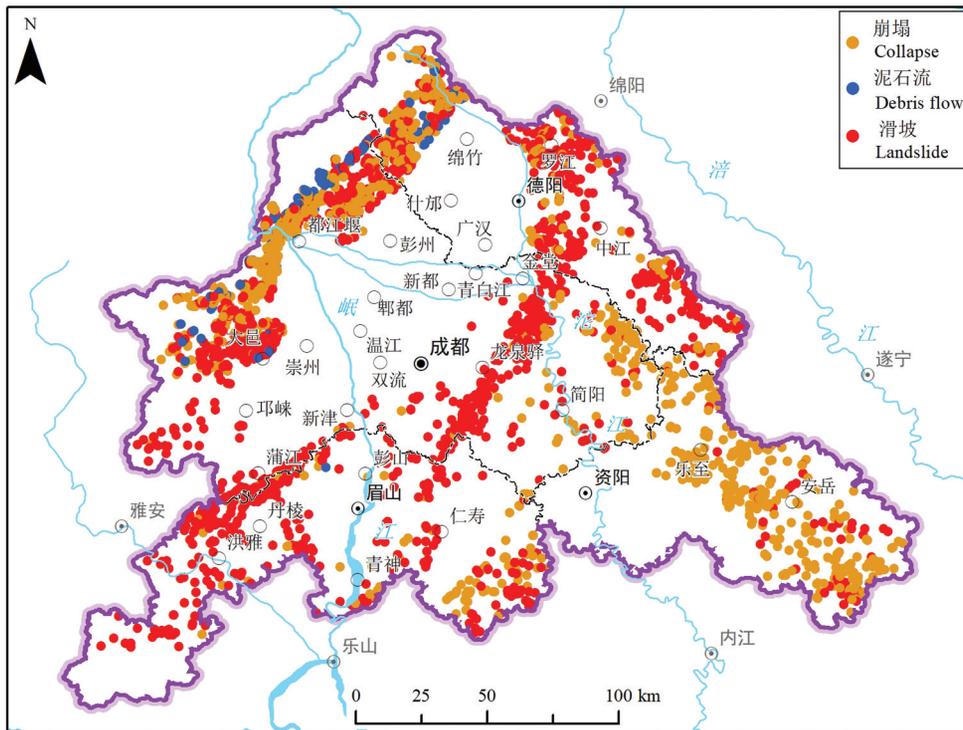


图 13 地质灾害分布图
 Fig.13 Distribution map of geological disasters

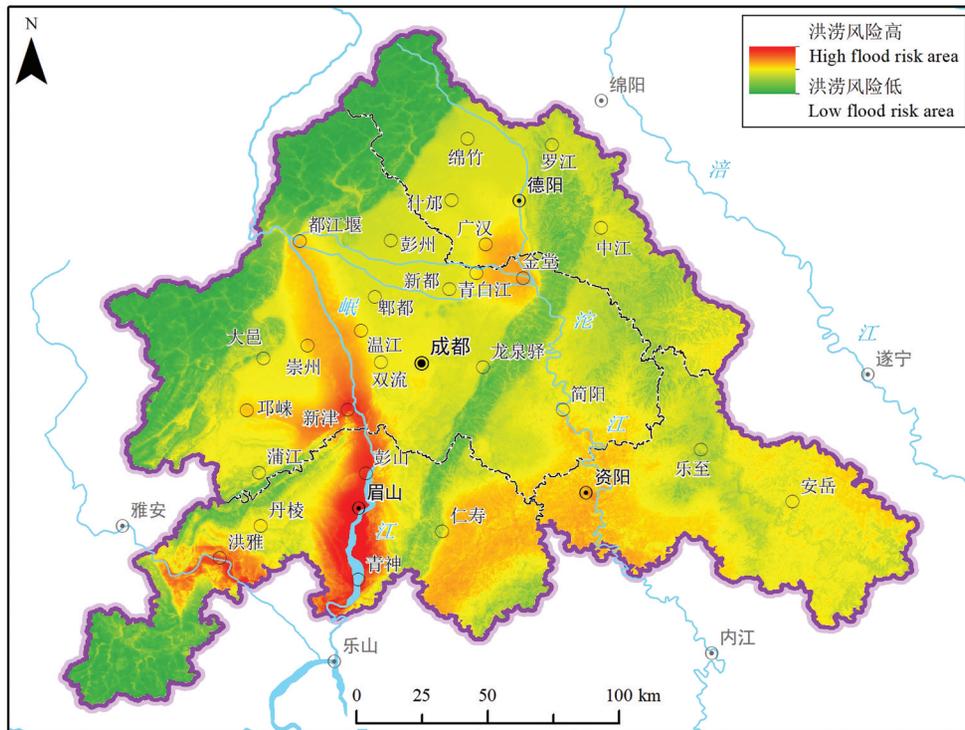


图14 洪涝风险评价图

Fig.14 Evaluation diagram of flood risk

风险较大,需重点防范。

4 建议

国土空间开发保护是以问题为导向,需要防范生态与环境安全,合理发展农业与城镇空间,从而形成科学有效的国土空间开发保护格局(赵雲泰和葛倩倩,2018)。通过本次研究,提出以下建议:

(1)以成都平原为主体,发挥区域资源环境本底优势,实施“扬长避短”战略,打造“三廊道、治下游、重多点、防西部”的一体化国土空间开发保护格局。在新的一体化城市格局下,生态安全注重“三廊道”,环境保护开展“治下游”,农业生产打造“重多点”的富硒区域,城镇建设重点“防西部”的地震与地质灾害。

(2)以山体为生态架构,重点保护水源涵养、生物多样性等功能,系统治理水土流失等问题,打造区域同城化生态先行示范区。

(3)以城镇密集区和沿江工业为重点,开展大气、水环境综合治理,实现“蓝天碧水”与人类建设和谐共处。

(4)以优质耕地为基础,重点开发富硒地段,打造集中连片高标准农田和四川盆地富硒示范区。

(5)以成都平原为主体,重点防范西部山区和岷江下游自然灾害,优化空间格局,打造多中心、网络化、组团式的城镇化体系。

5 结论

(1)成-德-眉-资同城化区主体位于四川盆地,自然条件相对优越,地壳整体稳定,自然资源丰富,水土光热组合好,具有同城化建设的自然地理格局以及自然-地理-资源-生态-环境条件。

(2)从生态安全上,区内生态保护极重要区呈“东北向、三廊道”的空间分布特征,是区内生态格局的科学依据。近30年来,生态保护成效较为显著,近80%地区生态空间维持良好,且生态空间增加区略大于减少区,生态功能逐年增强。生态系统服务功能以水源涵养、生物多样性为主,存在水土流失等生态敏感区。

(3)从环境保护上,区内大气环境较好,河流与地下水水质处于一般。大气环境需整体关注细颗

颗粒物,局部重点防范可吸入颗粒物、臭氧等。河流水质总体“上游优、下游劣”的分布特征,需重点关注沱江下游支流污染问题。地下水水质总体一般,劣V类水呈“城区大集中、城周小分散”的分布特征,城市建设对地下水质量影响强烈。

(4)从农业生产上,区内农业生产适宜区分布广、集中连片,水土资源组合条件好,利于高标准基本农田规模化打造。土壤养分、环境质量总体为优良,大部分地区含硒元素,德阳—绵竹、成都南部、洪雅南部为富硒地区,适宜发展硒产业。

(5)从城镇建设上,区内城镇建设适宜区分布广、集中连片,水土资源禀赋较好,灾害风险程度较低,利于形成多中心、网络化、组团式的城镇化空间格局。城镇建设面临的自然灾害主要为地震、地质灾害、洪涝,总体程度较低,但龙门山区地震与地质灾害、岷江下游洪涝风险较大,需重点防范。

注释

- ①中国地质调查局. 2019. 长江经济带资源环境承载能力与国土空间适宜性评价报告[R].
- ②中国地质调查局成都地质调查中心. 2020. 成都市多要素城市地质调查报告[R].

References

- Cheng Jinhua, You Zhe. 2019. Scientific connotation and practical paths about the principle of “Taking mountains, rivers, forests, farmlands, lakes and grasslands as a life community” [J]. *China Population, Resources and Environment*, 29(2): 1–6 (in Chinese with English abstract).
- China Geological Survey. 2018. *Geological Environment Atlas of Important Economic Zones and Urban Agglomerations in China: Chengdu–Chongqing Urban Agglomeration*[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1–24 (in Chinese).
- Dong Shunli, Li Yong, Qiao Baocheng, Ma Bolin, Zhang Yi, Chen Hao, Yan Liang. 2008. Analysis of the new activity of the buried faults in the Chengdu Basin after the 8.0 magnitude Wenchuan earthquake[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 28(3): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- Feng Xiangrong, Deng Ouping, Deng Liangji, Wu Ming, Yao Kun, Yang Zepeng. 2017. Flux characteristics of CO₂, CH₄ and N₂O and their influencing factors in different types of ditches in the Chengdu plain[J]. *Environmental Science*, 38(12): 5344–5351 (in Chinese with English abstract).
- Guo Ziqi, Li Shengwei, Wang Donghui, Li Hongyan, Wang Dewei, Song Zhi, Gu Hongyu. 2019. Environmental geology of the Longquanshan urban forest park, Chengdu, Sichuan[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 39(4): 90–99 (in Chinese with English abstract).
- Huang Changsheng, Zhou Yun, Zhang Shengnan, Wang Jietao, Liu Fengmei, Gong Chong, Yi Chengyun, Li Long, Zhou Hong, Wei Liangshuai, Pan Xiaodong, Shao Changsheng, Li Yiyong, Han Wenjing, Yin Zhibin, Li Xiaozhe. 2021. Groundwater resources in the Yangtze River Basin and its current development and utilization[J]. *Geology in China*, 48(4): 979–1000 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Yuehua, Lin Liangjun, Cheng Lide, Ni Huayong, Ge Weiya, Cheng Hangxin, Zhai Gangyi, Wang Guilin, Ban Yizhong, Li Yuan, Lei Mingtang, Tan Chengxuan, Su Jingwen, Zhou Quanping, Zhang Taili, Li Yun, Liu Hongyin, Peng Ke, Wang Hanmei. 2017. Research on conditions of resources and environment and major geological problems in the Yangtze River Economic Zone[J]. *Geology in China*, 44(6): 1045–1061 (in Chinese with English abstract).
- Lin Yan, Bai Xiujia, Ye Zeyu, Zhang Heng. 2021. Assessment of agricultural production suitability in Nantong City based on ArcGIS technology[J]. *Geological Bulletin of China*, 40(6): 968–977 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yuan. 1986. Characteristics and division of river water pollution in Chengdu plain[J]. *Sichuan Environment*, 5(2): 40–52 (in Chinese).
- Lu Ningsheng, Zhang Xiaoling, Kang Ping, Hua Ming, Du Yunsong, Chen Junhui, Xiang Weiguo, Lei Yu, Ou Yihan. 2021. Objective weather classification and typical process analysis of ozone pollution during spring in Chengdu Plain urban agglomeration[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 41(5): 1610–1627 (in Chinese with English abstract).
- Ruan Chen, Wang Xiaoqi, Hu Lin, Huang Qing. 2008. Analysis of urban spatial development of major cities in urban agglomeration of the Chengdu plain using the Box model of atmospheric environment[J]. *Sichuan Environment*, 27(1): 46–51 (in Chinese with English abstract).
- Song Zhi, Ni Huayong, Wang Donghui, et al. 2020. *Map of Natural Resources and Geological Environment Supporting the Green Development of Chengdu–Chongqing Urban Agglomeration*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 8–29 (in Chinese).
- Song Zhi, Le Qilang, Chen Xuyu, Yang Nan, Huang Tianju. 2021. A preliminary study on evaluating method of water resources carrying capacities of China and its application[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 41(1): 106–111 (in Chinese with English abstract).
- Sun Shuming, Lu Lixia. 2021. Research on the formation mechanism of urban integration of Chengdu, Deyang, Meishan and Ziyang from the perspective of urban agglomeration[J]. *Journal of Southwest University of Science and Technology*, 38(4): 74–78 (in Chinese with English abstract).

- Sun Zhangtao, Yu Zhengwei, Shu Siqi, Xu Chuangsheng, Shu Yang. 2023. Evaluation of ecosystem services of Chinese provincial land and suggestions for ecological geological survey[J]. *Geology in China*, 50(2): 479-494 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiqin, Xing Siqi, Zhang Yuan, Zhang Bing. 2009. Evaluation of coordinated development of economy- society- environment system in urban agglomeration of Chengdu Plain[J]. *Ecological Economy*, (2): 45-49 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yuke, Chen Hao, Feng Xinglei, Chen Ming, Wang Donghui. 2019. Sedimentary characteristics and engineering geological significance of the middle Pleistocene Hejiang Formation in the eastern suburb platform on the Chengdu Plain, Sichuan[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 39(3): 33-39 (in Chinese with English abstract).
- Wei Haichuan, Yang Yongan, Xu Xiaoyun. 2018. Analysis on air quality of Chengdu Plain urban agglomeration in 2017[J]. *Shandong Chemical Industry*, 47(14): 191-194 (in Chinese with English abstract).
- Wei Wei, Xia Junnan, Hong Mengyao, Bo Liming. 2021. The evolution of "Three-Zone Space" in the Yangtze River Economic Belt under major functional zoning strategy from 1980 to 2018[J]. *Urban Geology*, (3): 28-35 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yuntai, Ge Qianqian. 2018. Territorial spatial planning in the context of "Multiple Planning Integration": Taking Yulin Pilot as a case[J]. *Land and Resources Information*, (8): 22-29 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Yijia. 2005. Preliminary analysis on distribution of groundwater resources in Chengdu Plain[J]. *Sichuan Water Resource*, (4): 28-31 (in Chinese).
- Zhou Daojing, Xu Yong, Wang Yafei, Zhou Kan, Liu Baoyin, Li Jiuyi, Fan Jie. 2020. Methodology and role of "Double Evaluation" in optimization of spatial development pattern[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 35(7): 814-824 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Kan, Li Jiuyi, Wang Qiang. 2021. Evaluation on agricultural production space and layout optimization based on resources and environmental carrying capacity: A case study of Fujian Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 41(2): 280-289 (in Chinese with English abstract).
- 成金华, 尤喆. 2019. "山水林田湖草是生命共同体"原则的科学内涵与实践路径[J]. *中国人口·资源与环境*, 29(2): 1-6.
- 董顺利, 李勇, 乔宝成, 马博琳, 张毅, 陈浩, 闫亮. 2008. 汶川特大地震后成都盆地内隐伏断层活动性分析[J]. *沉积与特提斯地质*, 28(3): 1-7.
- 冯香荣, 邓欧平, 邓良基, 吴铭, 姚昆, 杨泽鹏. 2017. 成都平原不同类型沟渠 CO₂、CH₄和 N₂O 排放通量特征及其影响因素[J]. *环境科学*, 38(12): 5344-5351.
- 郭子奇, 李胜伟, 王东辉, 李鸿雁, 王伟伟, 宋志, 顾鸿宇. 2019. 浅析四川成都龙泉山城市森林公园主要环境地质问题[J]. *沉积与特提斯地质*, 39(4): 90-99.
- 黄长生, 周耘, 张胜男, 王节涛, 刘凤梅, 龚冲, 易秤云, 李龙, 周宏, 魏良帅, 潘晓东, 邵长生, 黎义勇, 韩文静, 尹志彬, 李晓哲. 2021. 长江流域地下水资源特征与开发利用现状[J]. *中国地质*, 48(4): 979-1000.
- 姜月华, 林良俊, 陈立德, 倪化勇, 葛伟亚, 成杭新, 翟刚毅, 王贵玲, 班宜忠, 李媛, 雷明堂, 谭成轩, 苏晶文, 周权平, 张泰丽, 李云, 刘红樱, 彭柯, 王寒梅. 2017. 长江经济带资源环境条件与重大地质问题[J]. *中国地质*, 44(6): 1045-1061.
- 林燕, 白秀佳, 叶泽宇, 张衡. 2021. 基于 ArcGIS 的南通市农业生产适宜性评价[J]. *地质通报*, 40(6): 968-977.
- 刘源. 1986. 成都平原的河水污染特点及区划[J]. *四川环境*, 5(2): 40-52.
- 卢宁生, 张小玲, 康平, 华明, 杜云松, 陈军辉, 向卫国, 雷雨, 欧奕含. 2021. 成都平原城市群春季臭氧污染天气客观分型与典型过程分析[J]. *环境科学学报*, 41(5): 1610-1627.
- 阮晨, 汪小琦, 胡林, 黄庆. 2008. 基于大气环境箱式模型对成都平原城市群主要城市空间发展的评价分析[J]. *四川环境*, 27(1): 46-51.
- 宋志, 倪化勇, 王东辉, 等. 2020. 支撑服务成渝城市群绿色发展自然资源与地质环境图集[M]. 北京: 地质出版社, 8-29.
- 宋志, 乐琪浪, 陈绪钰, 杨楠, 黄天驹. 2021. 水资源承载力评价方法初探以及在"以水四定"中的运用[J]. *沉积与特提斯地质*, 41(1): 106-111.
- 孙书毓, 卢黎霞. 2021. 城市群视域下成德眉资同城化的形成机理研究[J]. *西南科技大学学报(哲学社会科学版)*, 38(4): 74-78.
- 孙张涛, 余正伟, 舒思齐, 许闯胜, 舒阳. 2023. 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*, 50(2): 479-494.
- 王西琴, 邢思齐, 张远, 张兵. 2009. 成都平原城市群经济社会与资源环境协调发展评价[J]. *生态经济*, (2): 45-49.
- 王羽珂, 陈浩, 冯兴雷, 陈明, 王东辉. 2019. 成都平原东郊台地中新统合江组沉积特征及工程地质意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 39(3): 33-39.
- 魏海川, 杨永安, 许肖云. 2018. 2017年成都平原城市群空气质量状况分析[J]. *山东化工*, 47(14): 191-194.
- 魏伟, 夏俊楠, 洪梦瑶, 薄立明. 2021. 1980—2018年长江经济带主体功能空间演化研究[J]. *城市规划学刊*, (3): 28-35.
- 赵雲泰, 葛倩倩. 2018. "多规合一"视角下的国土空间规划——以榆林试点为例[J]. *国土资源情报*, (8): 22-29.
- 郑义加. 2005. 成都平原地下水资源分布的初步分析[J]. *四川水利*, (4): 28-31.
- 中国地质调查局. 2018. 中国重要经济区和城市群地质环境图集: 成渝城市群[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-24.
- 周道静, 徐勇, 王亚飞, 周侃, 刘宝印, 李九一, 樊杰. 2020. 国土空间格局优化中的"双评价"方法与作用[J]. *中国科学院院刊*, 35(7): 814-824.
- 周侃, 李九一, 王强. 2021. 基于资源环境承载力的农业生产空间评价与布局优化——以福建省为例[J]. *地理科学*, 41(2): 280-289.

附中文参考文献

- 成金华, 尤喆. 2019. "山水林田湖草是生命共同体"原则的科学内涵与实践路径[J]. *中国人口·资源与环境*, 29(2): 1-6.
- 董顺利, 李勇, 乔宝成, 马博琳, 张毅, 陈浩, 闫亮. 2008. 汶川特大地震后成都盆地内隐伏断层活动性分析[J]. *沉积与特提斯地质*, 28(3): 1-7.
- 冯香荣, 邓欧平, 邓良基, 吴铭, 姚昆, 杨泽鹏. 2017. 成都平原不同类型沟渠 CO₂、CH₄和 N₂O 排放通量特征及其影响因素[J]. *环境科学*, 38(12): 5344-5351.