引文格式：孙小涛,石宁卓,屈会,等. 川东平行岭谷区土壤侵蚀脆弱性评价与地形相关性分析[J]. 地理空间信息, 2024, 22(12): 87-91. doi:10.3969/j.issn. 1672-4623.2024.12.020

川东平行岭谷区土壤侵蚀脆弱性评价与地形相关性分析

孙小涛[1,2]，石宁卓[2]，屈　会[3]，彭洪斌[1,2*]
（1. 四川文理学院 生态旅游学院，四川 达州 635000；2. 四川文理学院 建筑工程学院，四川 达州 635000；
3. 云南财经大学 物流与管理工程学院，云南 昆明 650221）

摘　要：为了评价土壤侵蚀脆弱性，揭示其与地形的相关性。以大竹县为研究区，运用RS与GIS技术，选取植被覆盖度、土地利用、高程、坡度、坡向、地形起伏度等指标因子，运用ArcMap 10.8空间分析，评价土壤侵蚀脆弱性及与地形的相关性。结果表明：①土壤侵蚀以微度、轻度为主，微度、轻度、中度、强烈、极强烈、剧烈等级分别为1 268.27、367.64、326.56、106.12、9.51、0.9 km²，占国土面积分别为61.00%、17.68%、15.71%、5.10%、0.46%、0.05%；②强烈等级以上区域集中在RDLS 0.05~0.15，0.15~0.25；③强烈等级以上区域集中坡度15°~25°、25°~35°、＞35°，占土壤侵蚀面积分别为12.95%、1.28%、0.14%；④坡向范围土壤侵蚀半阳坡＞阳坡＞阴坡＞半阴坡＞平地；⑤高程范围土壤侵蚀300~600 m＞600~900 m＞900~1 200 m＞0~300 m；研究对长江上游生态环境建设有重要的意义。

关键词：土壤侵蚀；地形；RS；GIS；大竹县
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）12-0087-05

Soil Erosion Vulnerability Evaluation and Topographic Correlation Analysis in Paralleled Ridge-valley of East Sichuan

SUN Xiaotao[1,2], SHI Ningzhuo[2], QU Hui[3], PENG Hongbin[1,2]
(1. School of Ecological Tourism, Sichuan University of Arts and Science, Dazhou 635000, China;
2. School of Architectural Engineering, Sichuan University of Arts and Science, Dazhou 635000, China;
3. School of Logistics and Management Engineering, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China)

Abstract: In order to evaluate the soil erosion vulnerability and reveal its correlation with topography, taking Dazhu County as the study area, taking vegetation cover, land-use, elevation, slope, slope direction, and terrain undulation as the index factors, we used RS, GIS technologies and ArcMap 10.8 spatial analysis to evaluate the soil erosion vulnerability and its correlation with topography. The results show that ①soil erosion is predominantly slight and mild, with grades of slight, mild, moderate, intense, very intense, and intense being 1 268.27 km², 367.64 km², 326.56 km², 106.12 km², 9.51 km² and 0.9 km², accounting for 61.00%, 17.68%, 15.71%, 5.10%, 0.46% and 0.05% of the country's land area, respectively. ② The areas above the strong grade are concentrated in RDLS 0.05~0.15 and 0.15~0.25. ③The areas above the strong grade are concentrated in slopes of 15°~25°, 25°~35°, and >35°, accounting for 12.95%, 1.28%, and 0.14% of the soil erosion area, respectively. ④Slope range soil erosion semi-sunny slopes > sunny slopes > shady slopes > semi-shady slopes > flat land. ⑤Elevation range soil erosion 300~600 m > 600~900 m > 900~1 200 m > 0~300 m. The study is of great significance to the ecological environment construction in the upper reaches of the Yangtze River.

Key words: soil erosion, topography, RS, GIS, Dazhu County

川东平行岭谷地形以山地丘陵为主，生态比较脆弱，土壤侵蚀问题比较严重。为了评价土壤侵蚀脆弱性，揭示其与地形的相关性。以大竹县为研究区，运用RS与GIS技术，选取30 m分辨率Landsat8OLI_TIRS影像和ASTER GDEM 30 m DEM等为数据源，通过遥感解译法、地理空间分析法、提取植被覆盖度、土地利用、高程、坡度、坡向、地形起伏度等指标因子，运用ArcMap 10.8空间分析，评价土壤侵蚀脆弱性及与地形的相关性[1-5]。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

大竹县地处四川省东部，介于106°59′~107°32′E

收稿日期：2023-10-15。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41761104）；四川省社会科学重点研究基地四川县域经济发展研究中心课题资助项目（xy2022068）；四川省哲学社会科学重点研究基地四川革命老区发展研究中心课题资助项目（SLQ2022SB-08）。
第一作者简介：孙小涛（1989—），硕士，讲师，主要从事地理信息系统与遥感及城乡规划工作，E-mail：sxt66666666@sina.com。
通信作者：彭洪斌（1973—），硕士，教授，硕士生导师，主要从事环境景观设计工作，E-mail：40586224@qq.com。

和30°20′~31°00′N之间，国土面积达2 079 km²。属四川省盆地东部平行岭谷区，3条山脉平行并列，东北—西南走向。西部华蓥山地势较高，一般在1 000 m；中部铜锣山、东部明月山相对较低，一般为900 m；槽内丘陵起伏，一般为400 m，少数山丘达500~600 m。气候属于中亚热带湿润季风气候区，气候温和、四季分明，无霜期平均284 d，年平均气温16.6 ℃，年日照时数1 088.6 h。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源

数据包含30 m分辨率Landsat8 OLI_TIRS影像、ASTER GDEM 30 m DEM与30 m分辨率土地利用数据、基础矢量数据等；考虑到云量、匹配性，选取2021年8月2日美国航空航天局（NASA） Landsat8卫星拍摄的Landsat 8 OLI_TIRS遥感影像，来源于地理空间数据云平台；ASTER GDEM 30 m DEM来源于地理空间数据云平台；30 m分辨率土地利用数据来源于2020年全球地表覆盖数据（www.globallandcover.com）；基于遥感影像、DEM等数据，通过ArcMap10.8、ENVI5.1等软件提取植被覆盖度、NDVI、高程、坡度、坡向、地形起伏度等；以上所有指标均通过ArcMap10.8添加相同投影，地理坐标系为：GCS_WGS_1984。

1.2.2 指标因子提取方法

1）植被覆盖度。植被覆盖度信息的提取，主要是通过归一化植被指数(NDVI)计算，它是应用一定的数学方法，将遥感影像中不同波段的灰度值进行各种组合运算。根据杨莎莎[6-7]等学者的研究方法，构建植被覆盖指数分级指标模型。

$$\begin{cases}\mathrm{NDVI}=(\mathrm{NIR}-R)/(\mathrm{NIR}+R)\\ f_{\mathrm{cover}}=(\mathrm{NDVI}-\mathrm{NDVI}_{\mathrm{min}})/(\mathrm{NDVI}_{\mathrm{max}}-\mathrm{NDVI}_{\mathrm{min}})\end{cases}\quad(1)$$

式中，NDVI为归一化植被指数；NIR和R分别为近红外波段和红波段处的反射率值；f_{cover}为植被覆盖度；$\mathrm{NDVI}_{\mathrm{min}}$为植被覆盖像元最小值的NDVI；$\mathrm{NDVI}_{\mathrm{max}}$为植被覆盖像元最大值的NDVI，分别取累积概率为5%和95%的NDVI值作为$\mathrm{NDVI}_{\mathrm{min}}$与$\mathrm{NDVI}_{\mathrm{max}}$。

根据国家水利部的《土壤侵蚀分类分级标准》（SL 190—2007）[9]，将研究区植被覆盖度分为五级：非常低（0%~30%），低（30%~45%），中等（45%~60%），良（60% ~75%），优（75%~100%）。

2）坡度。通过ASTER GDEM 30 m DEM，运用ArcMap10.8，提取坡度。根据土壤侵蚀分类分级标准（SL 190—2007）[8]及1985年全国土壤侵蚀遥感调查工作技术细则及有关要求，将坡度划分为6级：＜5°，5°~8°，8°~15°，15°~25°，25°~35°，＞35°。

3）土地利用。30 m分辨率土地利用数据来源于2020年全球地表覆盖数据（www.globallandcover.com）。将研究区土地利用分成人造地表、林地、水体、灌木地、耕地、草地等6种类型。

4）坡向。通过ASTER GDEM 30 m DEM，运用ArcMap10.8，提取坡向。将研究区坡向分为-1°（平地），0°~22.5°和337.5°~360°（北坡），22.5°~67.5°（东北坡），67.5°~112.5°（东坡），112.5°~157.5°（东南坡），157.5°~202.5°（南坡），202.5~247.5°（西南坡），247.5°~292.5°（西坡），292.5°~337.5°（西北坡）等9级。结合张珍珍[9-10]等的研究，将坡向划分为阳坡（135°~225°）、阴坡（315°~360°、0°~45°）、半阳坡（45°~135°）、半阴坡（225°~315°）、平地（-1°）。

5）地形起伏度。借鉴相关学者的研究方法，将我国的基准山体高视作500 m，将地形起伏度作为独立的数值从而符合地理学意义。地形起伏度公式如下（公式2）：

$$R_{\mathrm{DLSn}}=(H_{n\max}-H_{n\min})\times(1-M_A/A)/500\quad(2)$$

式中，R_{DLSn}为n像元ArcMap做邻域分析时地形起伏度；$H_{n\max}$为n像元ArcMap做邻域分析时最高高程值；$H_{n\min}$为n像元ArcMap做邻域分析时最低高程值；M_A为研究区平地面积；A为研究区范围国土总面积,将坡度小于5°的区域定义为平地。

综合分析，根据《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南》，结合研究区地形数据分辨率为30 m×30 m的栅格数据，ArcMap做领域分析时，像元分析窗口大小采用15×15的矩形窗口，在ArcMap中利用焦点统计计算RANGE，计算各像元分析窗口最高与最低高程间差值，统计各像元窗口平均地形起伏度。

1.2.3 土壤侵蚀脆弱性评价方法

文章以国家水利部的《土壤侵蚀分类分级标准》（SL 190—2007）为分级标准（表1），借鉴王娇[11]等的方法，将坡度、高程、植被覆盖度、土地利用等作为土壤侵蚀脆弱性评价因子，采用决策树分析方法，

表1 土壤侵蚀脆弱性评价分级标准

地类		坡度					
		0~5°	5°~8°	8°~15°	15°~25°	25°~35°	>35°
非耕地林草覆盖度/%	75~100	微度	微度	微度	微度	微度	微度
	60~75	微度	轻度	轻度	轻度	中度	中度
	45~60	微度	轻度	轻度	中度	中度	强烈
	30~45	微度	轻度	中度	中度	强烈	极强烈
	0~30	微度	中度	中度	强烈	极强烈	剧烈
坡耕地		微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈

通过ArcMap空间叠加分析，得到研究区土壤侵蚀脆弱性评价空间分布情况。

2　结果与分析

2.1　土壤侵蚀脆弱性评价结果及空间分布

研究区土壤侵蚀以微度、轻度为主，微度、轻度、中度、强烈、极强烈、剧烈等级分别为1 268.27、367.64、326.56、106.12、9.51、0.9 km^2，占国土面积分别为61.00%、17.68%、15.71%、5.10%、0.46%、0.05%；大竹县易发生土壤侵蚀区域810.73 km^2，占国土面积39%，不易发生土壤侵蚀区域即微度侵蚀区域，分布面积1 268.27 km^2，占国土面积的61%（表2）；从易发生土壤侵蚀区域中，轻度侵蚀的区域分布面积最大，分布最广，分布面积367.64 km^2，占土壤侵蚀面积45.35%；中度土壤侵蚀的区域达326.56 km^2，占土壤侵蚀面积40.28%；强度及以上土壤侵蚀的区域较少，比较安全，其中强烈侵蚀区域面积106.12 km^2，占土壤侵蚀面积13.09%，极强烈侵蚀区域面积9.51 km^2，占土壤侵蚀面积1.17%，剧烈侵蚀区域非常少，达0.9 km^2，占土壤侵蚀面积0.11%。

表2　土壤侵蚀脆弱性强度基本特征统计表

等级	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
面积/km^2	1 268.27	367.64	326.56	106.12	9.51	0.9
占国土总面积/%	61.00	17.68	15.71	5.10	0.46	0.05
占土壤侵蚀面积/%	/	45.35	40.28	13.09	1.17	0.11

研究区中度及以上土壤侵蚀区域呈散点状分布，图斑分布破碎、微小，不存在大面积面状分布，不易发生大面积土壤侵蚀现象；结合区域空间分布看（图1），呈带状南北分布在东部明月山、中部铜锣山、西部华蓥山等区域，山前、山后平地、丘陵地区以微度和轻度侵蚀为主；从乡镇分布看，中度及以上土壤侵蚀区域主要集中在石河镇、中华镇、观音镇、周家镇、清河镇、庙坝镇、杨家镇、清水镇、石桥铺镇、柏林镇、石子镇、四合镇、八渡乡等乡镇，以上13个乡镇中度以上土壤侵蚀脆弱性区域面积达303.00 km^2，占土壤侵蚀面积37.37%。强度及以上土壤侵蚀比较脆弱的区域达85.26 km^2，占土壤侵蚀面积10.52%，建议今后将以上区域作为土壤侵蚀重点防治区域。

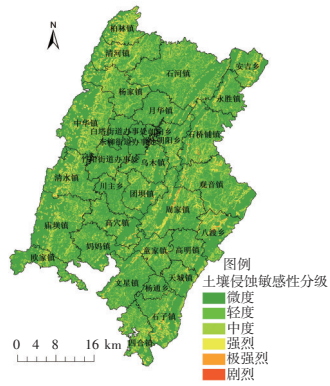


图1　大竹县土壤侵蚀脆弱性空间分布

2.2　地形起伏度与土壤侵蚀相关性分析

研究区地形起伏度介于0~0.43之间，平均值为0.096，标准差为0.072。县域内地形起伏度相对较小，地形起伏度（RDLS）0~0.05、0.05~0.15、0.15~0.25、0.25~0.35、0.35~0.45各等级分布面积为783.16、781.26、434.60、78.08、1.90 km^2，占国土面积分别为37.67%、37.58%、20.90%、3.76%、0.09%。

地形起伏度是评价土壤侵蚀脆弱性的重要宏观地形指标，从表3可以看出土壤侵蚀脆弱性分布范围与地形起伏度分布具有一定的一致性和规律性。土壤侵蚀脆弱性强的区域RDLS主要集中在0~0.05，0.05~0.15，0.15~0.25这3个等级，其中轻度及以上等级分布最广、数量最集中的区域RDLS主要分布在0.05~0.15等级区间内。根据表4可以看出土壤侵蚀强烈等级以上区域集中在0.05~0.15，0.15~0.25 2个等级，面积分别为50.96、58.76 km^2，占易发生土壤侵蚀分布面积分别为6.29%、7.25%。

2.3　地形坡度与土壤侵蚀相关性分析

坡度越大，径流能量越大，对坡面冲刷能力越强[12]。研究区坡度＜5°的区域面积723.72 km^2，占国土面积34.81%；坡度5°~8°的区域面积398.17 km^2，

表3　地形起伏度与土壤侵蚀敏感强度关系面积统计表

地形起伏度等级	土壤侵蚀脆弱性等级/km^2									
	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	总计	占国土总面积/%	轻度及以上等级	占土壤侵蚀面积/%
0~0.05	545.17	184.69	52.74	0.56	0.00	0.00	783.16	37.67	237.99	29.36
0.05~0.15	341.21	167.50	221.59	49.00	1.83	0.13	781.26	37.58	440.06	54.28
0.15~0.25	310.61	14.84	50.39	52.27	6.00	0.49	434.60	20.90	123.99	15.29
0.25~0.35	69.53	0.61	1.83	4.21	1.64	0.27	78.08	3.76	8.55	1.06
0.35~0.45	1.76	0.00	0.01	0.08	0.05	0.00	1.90	0.09	0.14	0.02
总计	1 268.27	367.64	326.56	106.12	9.51	0.90	2 079.00	/	810.73	/

占国土面积19.15%；坡度8°~15°的区域面积493.31 km²，占国土面积23.73%；坡度15°~25°的区域面积374.36 km²，占国土面积18.01%；坡度25°~35°的区域面积81.39 km²，占国土面积3.91%；坡度＞35°的区域面积8.05 km²，占国土面积的0.39%。

地形坡度与土壤侵蚀脆弱性分布范围关系密切，研究区土壤侵蚀脆弱性分布区域集中在坡度5°~8°，8°~15°，15°~25°3个区间段，分别占土壤侵蚀面积比例分别为43.07%、39.96%、15.18%。土壤侵蚀等级为微度、轻度区域不易发生土壤侵蚀，中度及以上区域土壤侵蚀敏感程度较高，容易发生土壤侵蚀。从表4可以看出土壤侵蚀比较敏感区域及中度等级以上区域集中在坡度8°~15°，15°~25°两个等级，面积分别为310.05，116.71 km²，占土壤侵蚀面积比例分别为38.24%，14.40%；土壤侵蚀脆弱性强烈以上等级区域主要集中15°~25°、25°~35°、＞35°，脆弱性面积分别为104.96、10.41、1.17 km²，占土壤侵蚀面积比例分别为12.95%、1.28%、0.14%。

表4 地形坡度与土壤侵蚀敏感强度关系面积统计表

坡度等级/（°）	土壤侵蚀脆弱性等级/km²									
	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	总计	占国土总面积比例/%	轻度及以上等级	占土壤侵蚀面积比例/%
0~5	723.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	723.72	34.81	0.00	0.00
5~8	49.02	347.38	1.77	0.00	0.00	0.00	398.17	19.15	349.15	43.07
8~15	169.36	13.90	310.05	0.00	0.00	0.00	493.31	23.73	323.95	39.96
15~25	251.30	6.35	11.75	104.96	0.00	0.00	374.36	18.01	123.06	15.18
25~35	68.12	0.00	2.86	0.97	9.44	0.00	81.39	3.91	13.27	1.64
＞35	6.75	0.00	0.13	0.19	0.08	0.90	8.05	0.39	1.30	0.16
总计	1 268.27	367.64	326.56	106.12	9.51	0.90	2 079.00	–	810.73	–

2.4 地形坡向与土壤侵蚀相关性分析

根据表5可以看出，除坡向等级为平地以外，研究区土壤侵蚀脆弱性分布在阴坡、半阳坡、阳坡、半阴坡等级基本比较均衡一致。阴坡轻度以上等级土壤侵蚀脆弱性区域194.14 km²，占土壤侵蚀面积的23.95%；半阳坡轻度以上等级土壤侵蚀脆弱性区域216.22 km²，占土壤侵蚀面积的26.67%；阳坡轻度以上等级土壤侵蚀脆弱性区域204.46 km²，占土壤侵蚀面积的25.22%；半阴坡轻度以上等级土壤侵蚀脆弱性区域192.06 km²，占土壤侵蚀面积的23.69%。除开平地外，各坡向土壤侵蚀脆弱性程度基本一致，差别比较小。各方向土壤侵蚀程度半阳坡＞阳坡＞阴坡＞半阴坡＞平地。

表5 地形坡向与土壤侵蚀敏感强度关系面积统计表

坡向	土壤侵蚀脆弱性等级/km²									
	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	总计	占国土总面积比例/%	轻度及以上等级	占土壤侵蚀面积比例/%
平地	18.93	2.32	1.36	0.17	0.01	0.00	22.79	1.10	3.86	0.48
阴坡	290.86	90.60	78.72	22.82	1.85	0.14	484.99	23.33	194.14	23.95
半阳坡	338.06	94.26	88.93	30.06	2.61	0.36	554.28	26.66	216.22	26.67
阳坡	301.77	94.26	79.72	27.74	2.60	0.14	506.23	24.35	204.46	25.22
半阴坡	318.65	86.20	77.83	25.33	2.45	0.25	510.71	24.57	192.06	23.69
总计	1 268.27	367.64	326.56	106.12	9.51	0.90	2 079.00	–	810.73	–

2.5 地形高程与土壤侵蚀相关性分析

研究区高程范围主要集中在300~600 m，参考孙小涛[5]、杨莎莎[6]等的研究，结合高程现状，将高程等级分成0~300 m，300~600 m，600~900 m，900~1 200 m 4个等级。高程0~300 m比较安全，土壤不易侵蚀，轻度以上等级土壤侵蚀脆弱性区域4.84 km²，占土壤侵蚀面积的0.06%；高程300~600 m，土壤侵蚀风险较高，容易发生土壤侵蚀，轻度以上等级土壤侵蚀脆弱性区域673.29 km²，占土壤侵蚀面积的83.05%；高程600~900 m内轻度以上等级土壤侵蚀脆弱性区域101.43 km²，占土壤侵蚀面积的12.51%，土壤侵蚀风险其次；高程900~12 00 m土壤侵蚀风险比较低，轻度以上等级土壤侵蚀脆弱性区域31.17 km²，占土壤侵蚀面积的3.84%；各高程范围土壤侵蚀程度300~600 m＞

600~900 m > 900~1 200 m > 0~300 m。

土壤侵蚀强度以上等级，比较脆弱，容易发生土壤侵蚀，高程0~300 m，土壤侵蚀脆弱性区域0.85 km^2，占土壤侵蚀面积的0.1%。高程300~600 m，土壤侵蚀脆弱性区域81.3 km^2，占土壤侵蚀面积的10.03%。高程600~900 m，土壤侵蚀脆弱性区域30.84 km^2，占土壤侵蚀面积的3.8%。高程900~1 200 m，土壤侵蚀脆弱性区域3.54 km^2，占土壤侵蚀面积的0.44%。

3　结论与讨论

3.1　结　论

1）大竹县土壤侵蚀分布格局与“三山两槽”的地形地势分布状况基本保持一致。原因在于山区地形地势、坡度起伏较大有一定关系，是产生土壤侵蚀的主要因素。

2）研究区土壤侵蚀与地形因子关系密切，具有一定的规律性。

3.2　讨　论

研究结果表明，川东平行岭谷区土壤侵蚀脆弱性评价与地形因子关系非常密切，研究结果能够做为丘陵山区土壤侵蚀脆弱性评价重要指标。下一步研究将重点考虑人为干预对土壤侵蚀影响，更好地服务于长江上游地区生态环境建设。

参考文献

[1] 何江湖,张科利. 西南喀斯特地区地下水土流失研究综述[J]. 泥沙研究,2022,47(5):66-73

[2] 陈晓宁,蒋好忱,雷宝佳. 黑土典型区土壤侵蚀危险度空间特征分析[J]. 地理空间信息,2021,19(9):79-82

[3] 何莎莎,朱文博,崔耀平,等. 基于InVEST模型的太行山淇河流域土壤侵蚀特征研究[J]. 长江流域资源与环境,2019,28(2):426-439

[4] 韩晶. 山地丘陵区土壤侵蚀时空变化及治理对策[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2022

[5] 孙小涛,周忠发,陈全,等. 重点生态功能区水土流失脆弱性评价与分布研究:以贵州省雷山县为例[J]. 水土保持学报,2016,30(6):73-78

[6] 杨莎莎,杨宇青,周忠发,等. FAST电磁波宁静区植被覆盖度与地形因子的时空关系分析[J]. 生态科学,2023,42(4):145-153

[7] 杨波,王玉杰,陈亚安. 石川河流域土壤侵蚀时空变化研究[J]. 地理空间信息,2019,17(5):19-22

[8] 土壤侵蚀分级分类标准:SL 190-2007[S].

[9] 张珍珍,熊康宁,黄登红. 近30年来梵净山植被覆盖时空变化及影响因素分析[J]. 水土保持研究,2018,25(2):183-189

[10] 焦鹏,阎百兴,欧洋,等. 东北低山丘陵典型区侵蚀沟分布特征及其地形影响研究[J]. 地理科学,2022,42(10):1 829-1 837

[11] 王娇,程维明,祁生林,等. 基于USLE和GIS的水土流失脆弱性空间分析:以河北太行山区为例[J]. 地理研究,2014,33(4):614-624

[12] 方广玲,香宝,赵卫,等. 基于GIS和RUSLE的拉莎河流域土壤侵蚀研究[J]. 水土保持学报,2015,29(3):6-12

（上接第37页）

用性。下一步，重点针对不同尺度下地名所指代的地理实体类型不一致的情况，研究设计相应的匹配方法，解决多尺度环境下实体类型变化的地名数据匹配问题。

参考文献

[1] 高晓蓉,闫浩文,禄小敏. 多尺度地图空间居民地语义相似度计算方法[J]. 测绘学报,2022,51(1):95-103

[2] 赵云鹏,孙群,刘新贵,等. 面向地理实体的语义相似性度量方法及其在道路匹配中的应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2020,45(5):728-735

[3] 陈青燕,梁丹,徐文兵,等. 一种线目标豪斯多夫相似距离度量指标[J]. 测绘科学,2016,41(8):14-18

[4] 陈经伟,刘新贵,孙傲辉,等. 基于地理实体轮廓的点状地名融合和拓展研究[J]. 测绘与空间地理信息,2021,44(9):68-71

[5] 郭黎,崔铁军,王豪,等. 基于面状要素拓扑关系的数据匹配技术研究[J]. 测绘科学,2010,35(1):130-132

[6] 孙晓霞. 融合语义和位置信息的兴趣点实体匹配方法[J]. 地理空间信息,2023,21(5):22-24

[7] 刘善磊,潘九宝,李梦梦,等. 多源地理信息数据匹配质量评价研究[J]. 地理空间信息,2022,20(1):118-121

[8] 石善球. 基于几何与属性匹配的地理信息数据融合更新方法[J]. 自然资源遥感,2023,35(1):251-257

[9] 杨进才,陈忠忠,谢芳,等. 基于汉语拼音首字母索引的混合分词算法[J]. 计算机系统应用,2016,25(4):221-225

[10] 朱少楠,张雪英,李明,等. 基于行政隶属关系树状图的地名消歧方法[J]. 地理与地理信息科学,2013,29(3):39-42

[11] 牛永洁,张成. 多种字符串相似度算法的比较研究[J]. 计算机与数字工程,2012,40(3):14-17