

基于下垫面遥感数据的山东省汇流地类分区

石朋¹, 孟源¹, 肖豪¹, 瞿思敏¹, 高伟², 庄会波³, 陈干琴³,
樊鑫洋¹, 杨雨蒙¹, 方正¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 山东省水文计量检定中心, 山东 济南 250014;
3. 山东省水文中心, 山东 济南 250014)

摘要:基于山东省2020年下垫面遥感数据及高分辨率DEM资料,从影响汇流的下垫面因子出发,按地貌-土地利用组合进行了汇流地类划分,并对全省53个不同面积的子流域汇流地类进行了分析。依据中国1:100万数字地貌分类方案并结合山东省地貌实际情况,山东省地貌类型主要分为平原、丘陵和山地3类,平原、丘陵、山地之间的起伏度临界值分别为30、100 m,相应的坡度临界值分别为1.8°、5°;基于中国多时期土地利用遥感监测数据集土地利用分类系统,将耕地划分为水田和旱地,单列裸土地,最终将山东省土地利用分为8个大类;将地貌划分结果和土地利用划分结果进行叠加,划分山东省汇流地类为平原-旱地、平原-建设用地、丘陵-旱地等22类,其中平原-旱地面积极占比最大;从子流域汇流地类平均情况来看,随着子流域面积增加,汇流地类数不断增加直至稳定,而最大汇流地类占比不断减小直至稳定。

关键词:汇流地类;地貌分类;土地利用分类;下垫面遥感数据;起伏度;山东省

中图分类号:TV213.4;P33 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2024)06-0001-05

Classification of land surface type for runoff concentration in Shandong Province based on remote sensing data of underlying surface//SHI Peng¹, MENG Yuan¹, XIAO Hao¹, QU Simin¹, GAO Wei², ZHUANG Huibo³, CHEN Ganqin³, FAN Xinyang¹, YANG Yumeng¹, FANG Zheng¹(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Shandong Hydrological Measurement and Testing Center, Jinan 250014, China; 3. Shandong Hydrological Center, Jinan 250014, China)

Abstract:Based on the remote sensing data of underlying surfaces and high-resolution DEM data in Shandong Province in 2020, the underlying surface factors affecting runoff were investigated, and the land surface type for runoff concentration was classified according to geomorphology-land use combinations. The land surface types for runoff concentration of 53 sub-basins with different areas in Shandong Province were analyzed. According to China's 1:1 000 000 digital geomorphological classification programme and considering the actual geomorphological situation in Shandong Province, the geomorphological types of Shandong Province were mainly divided into three types: plains, hills and mountains, with critical relief amplitude of land surface values of 30 and 100 m between plains, hills and mountains, and corresponding critical slope values of 1.8° and 5°. Based on the land use classification system of China's multi-period land use remote sensing monitoring dataset, land use in Shandong Province was finally classified into eight major categories, with arable land being categorized into paddy field and dry field, and bare land being listed separately. By combining the geomorphological and land use classification results, 22 land surface types for runoff concentration in Shandong Province were obtained, such as plain-dry field, plain-construction land, and hill-dry field, among which the area of plain-dry field accounted for the largest proportion of area. The average classification results show that as the sub-basin area increases, the number of land surface types for runoff concentration increases until it reaches stability, while the percentage of land surface type for runoff concentration with maximum area decreases until it reaches stability.

Key words: land surface type for runoff concentration; geomorphological classification; land use classification; remote sensing data of underlying surface; relief amplitude; Shandong Province

基金项目:国家自然科学基金项目(52179011)

作者简介:石朋(1976—),男,教授,博士,主要从事水文水资源研究。E-mail:ship@hhu.edu.cn

通信作者:瞿思敏(1977—),女,教授,博士,主要从事流域水文模拟及同位素水文研究。E-mail:wanyin@hhu.edu.cn

汇流地类分区对无资料地区和中小流域的水文模拟与预报、水文分析计算等至关重要。通过汇流地类分区,可以探讨流域汇流的空间分布规律,并进行参数移植和参数区域规律研究。汇流地类分区的目的是将区域划分成不同的汇流地类,相同的汇流地类具有相似的下垫面特征和汇流特性,不同汇流地类间的汇流特性差异较大^[1-2]。

常用的汇流地类分区方法包括地理分区法、地貌单位线法、流域水文模型参数法、聚类分析法等。其中,地理分区法在划分相似区边界时任意性较强,不同的学者可能划分出不同的分区^[3];地貌单位线法依赖于水文站网密度和资料的样本容量,稳定性不高^[4];流域水文模型参数法要求有足够的水文资料^[5],不适用于缺资料地区;聚类分析法的稳定性取决于指标的选取^[2,6]。

本文主要考虑地貌特征和土地利用类型,从力学角度考察水流的汇集过程来进行汇流地类划分。①地貌特征。以坡度为例,由于水流在重力作用下产生流动,一般情况下,坡度越大,水沿坡面向下流动的速度越快,汇流时间越短,退水速度也越快,退水流量越小。②土地利用类型。土地利用类型通过影响蒸发、下渗等水循环过程,直接或间接地影响汇流过程,从而引起径流特性的改变。

目前地貌划分中采用的地貌信息指标主要体现量化原则,如起伏度、海拔、坡度、坡向、沟谷切割深度和密度、形状等指标。但指标的定级问题一直是研究热点,如起伏度的计算、海拔的等级划分、坡度和坡向的划分方法、沟谷切割深度和密度的计算与等级划分、描述形状的指标体系等^[7]。本文主要采用实用性较强的起伏度来进行地貌划分,并通过调试推荐对应的临界参考坡度。

土地利用类型划分目前大多采用中国多时期土地利用遥感监测数据集(CNLUCC)的划分标准^[8],也有采用中国土地覆盖数据集(CLCD)^[9-10]的划分标准。本文采用CNLUCC的划分标准,根据山东省具体情况,考虑不同土地利用水文响应,进行细分、合并、删减,形成山东省土地利用分类。

近年来,国内外水文学家采用遥感技术提供的海量下垫面信息开展了许多产汇流相关研究^[11-13],结果表明,水文遥感技术能改善传统的水文模型结构与应用并提高径流估计精度^[14-16]。本文以山东省为研究区域,基于高分辨率的DEM数据和下垫面遥感数据解译的土地利用数据,按照地貌-土地利用组合划分汇流地类,以期对山东省流域规划、水资源管理与水环境保护提供支撑。

1 研究区概况和数据来源

山东省位于中国东部沿海、黄河下游,总面积15.71万km²。东部大部分为起伏平缓的波状丘陵区;西部、北部为黄河冲积平原区;中部突起,为鲁南山地丘陵区。泰山雄居中部,为全省最高点,海拔1545m,黄河三角洲地区海拔2~10m,为全省内陆最低处。

山东省地处北温带半湿润季风气候区,四季分明,温差变化大。全省多年平均气温为12℃,年水面蒸发量为1000~1400mm,3—6月蒸发量占全年的50%左右。多年平均降水量为680.5mm,约80%的降雨集中在6—9月。降水量年际变化明显,不同年份丰枯比例高达2.62以上。降水量空间分布不均,从东南沿海的850mm递减至西北内陆的550mm。多年平均径流深为126.5mm,水资源总量为308.1亿m³。

山东省水系发达,全省平均河网密度为0.24km/km²。省内河流分属黄、淮、海三大流域,其中,干流长50km以上的河流有1000多条,干流长10km以上的河流有1552条。因为特殊的地理纬度、地形地貌和水文气象等因素影响,山东省境内经常发生水旱灾害,在全球气候变暖以及人类活动的共同影响下,洪涝、干旱等极端灾害事件频发。

DEM数据来源于地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn>),分辨率为90m。土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)2020年土地利用数据,分辨率为1km。

2 研究方法

2.1 地貌类型划分

地貌特征不仅会影响河流的流向和发源地,而且会直接影响水流特性。在地势陡峭的山区,坡度大,河道汇流速度快,水流湍急,洪水过程陡涨陡落,下切作用强烈,多形成深切河谷;在平原地区,水流缓慢,沉积作用强,河道中多呈现沙洲汉道。

目前国内地貌类型的划分多基于形态和成因相结合的原则,但在具体应用时,由于地表形态复杂多样,使用目的不同,划分方法也不同。一般来说,基本的地貌形态类型主要由地表坡度、起伏度和地貌面海拔3个基本指标逐级划分:①根据地表坡度、坡向及其组合划分为平原和山地两种;②根据起伏度将平原和山地共划分为7种基本地貌形态^[17];③根据上述7种基本地貌形态及4个地貌面海拔等级组合,形成25个基本地貌形态类型,具体可见文

本文依据起伏度将山东省地貌划分为平原、丘陵和山地 3 种,结合山东省地形地貌特征与山东省人民政府网(<http://www.shandong.gov.cn/>)的地貌类型面积和面积占比,其平原、丘陵、山地之间的起伏度临界值分别为 30 m 和 100 m^[18]。通过不断调试坡度临界值对山东省地貌进行划分,使得到的平原、丘陵、山地 3 种地貌面积占比与通过地形起伏度划分的结果相近,则将这组坡度作为推荐的临界坡度参考值,划分标准见表 1。

表 1 山东省基本地貌类型划分标准

地貌类型	起伏度/m	坡度/(°)
平原	<30	<1.8
丘陵	30~100	1.8~5.0
山地	>100	>5.0

2.2 土地利用类型划分

土地利用类型通过影响蒸发、下渗等水循环过程,直接或间接地影响产汇流过程,从而导致径流特性的改变。林地具有较强的调蓄能力,可以增加土壤的下渗率,增加地下径流,使枯季径流增加,汛期径流减少,改变河流径流的年内分配。草本植物根系浅,对土壤水的吸收能力低,下渗率也低,没有深厚的枯枝落叶层拦截雨水、阻拦地表径流,但是可以通过减缓雨水对地表土的冲刷,防止水土流失。耕地对洪水特性的影响主要体现在截留、蒸发和下渗等方面,土壤下渗能力较强,不同种类和不同季节的农作物,根据其根系和枝叶的发育程度,对降雨的截留和蒸发量是不相同的。

土地利用分类的原则是既要充分反映流域主要的土地利用变化,又要考虑现有水文站特别是小流域水文站情况,其划分精度应与流域尺度相适应。本文采用的土地利用分类标准参考中国科学院资源环境科学与数据中心的 CNLUCC 划分标准。具体划分时,结合山东省实际情况,将一级类型进行细分、合并和删减。将耕地中的水田和旱地单独划分为一级类型,未利用土地中的沼泽地划入水域,未利用土地中的盐碱地和裸土地合并为裸土地且作为一级类型,从而得到山东省基于水文响应的土地利用分类标准(表 2)。

2.3 汇流地类分区

从力学角度考察水流的汇集过程,一方面,重力沿坡向的分力驱动水体流动,地表坡度越陡,重力沿坡向的分力就越大,汇流速度越快,汇流时间也越短,洪水过程线形态显得陡峭,因此决定水流驱动力大小的自然因子为流域坡度;另一方面,水体在流动时会受到来自流域坡面及河床的阻力(流域阻抗),

一级类型	二级类型
水田	
旱地	
林地	有林地、灌木林、疏林地、其他林地
草地	高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地
水域	河渠、湖泊、水库坑塘、永久性冰川雪地、滩涂、滩地、沼泽地
建设用地(城乡、工矿、居民用地)	城镇用地、农村居民点、其他建设用地
裸土地	盐碱地、裸土地
未利用土地	沙地、戈壁、裸岩石质地、其他、海洋

植被越茂密、河床越粗糙,流域阻抗越大,汇流速度越小,汇流时间越长,洪水过程线就会显得矮胖。流域的动力条件和阻抗是影响流域汇流的两个主要因素,流域阻抗主要由土地利用产生,动力条件则由流域坡度决定。对于一个特定的流域而言,流域汇流的快慢是两种反向力量相互作用的结果。当降水特性(量、强度和分布)一定时,流域汇流特性主要取决于流域的地貌和土地利用两个因素。

按照地貌-土地利用组合划分汇流地类,将通过地貌划分得到的山东省地貌划分结果和根据 CNLUCC 的土地利用分类结果进行重分类后得到的土地利用划分结果进行叠加,得到 2020 年山东省汇流地类分区结果。

3 结果与分析

3.1 地貌划分结果

山东省地貌划分结果如图 1 所示。由图 1 可知,整个山东省的平原面积占比为 69.40%(包含台地),丘陵面积占比为 17.86%,山地面积占比为 12.74%。该划分结果与中国科学院资源环境科学与数据中心的划分结果基本一致。

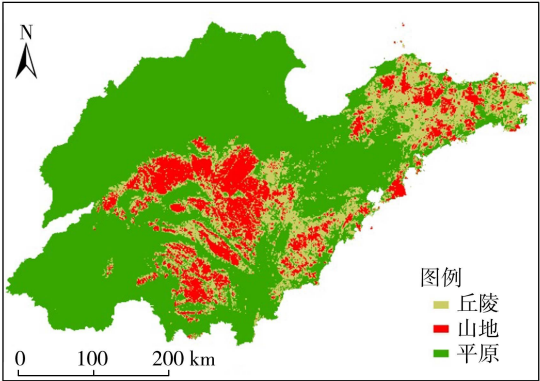


图 1 山东省地貌划分结果

3.2 土地利用划分结果

山东省土地利用划分结果如图 2 所示。由图 2 可知,2020 年山东省旱地面积最大,占比为 63.91%;其次是建设用地,占比为 17.64%;水域、林

地、草地、水田、未利用土地、裸土地面积占比分别为6.39%、5.78%、5.43%、0.65%、0.14%、0.07%。

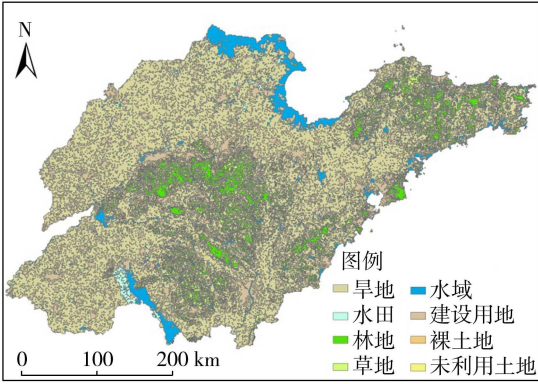


图2 山东省2020年土地利用分类

3.3 汇流地类分区结果

按照地貌-土地利用组合划分汇流地类,结果如图3所示(图中括号内为各汇流地类面积占比)。由图3可知,山东省汇流地类初步分为24类。其中平原-旱地面积占比最大,为47.8%;其次为平原-建设用地和丘陵-旱地,面积占比分别为14.4%和11.7%。丘陵-水田和山地-水田占比可以忽略,最终山东省汇流地类共分为22类。

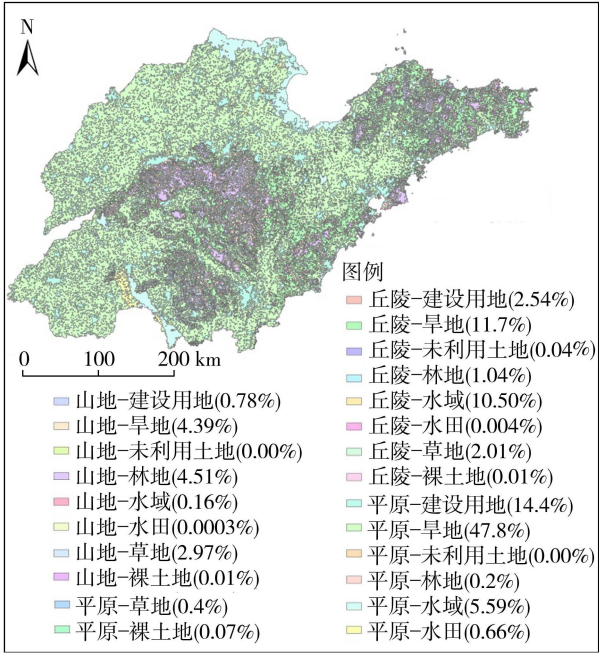


图3 山东省汇流地类分类

3.4 子流域汇流地类分区结果讨论

为了讨论汇流地类数和主要汇流地类占比两者分别与流域面积之间的关系,调查了全省53个子流域的流域面积、汇流地类数、占比最大汇流地类、最大汇流地类占比,统计结果见表3,流域面积与汇流地类数的关系见图4。

从图4可以看出,随着流域面积增大,汇流地类

表3 子流域汇流地类分级统计(按面积)

流域面积/km ²	子流域数	平均汇流地类数	平均最大汇流地类占比/%
<100	7	7.8	60
100~1000	27	15.0	37
>1000	19	19.0	41

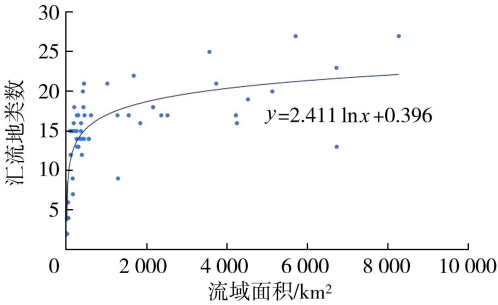


图4 流域面积与汇流地类数关系

数有一定程度增加,但是当面积增大到1000 km²后,汇流地类数增加没有那么显著,稳定在15~19个。一般来说,最大汇流地类占比会减小,但是也不是一直减小,会有一个相对稳定值。从表3可以看出,流域面积小于100 km²时,平均最大汇流地类占比为60%;当流域面积在100~1000 km²之间时,平均最大汇流地类占比减小到37%。但是,当流域面积大于1000 km²时,平均最大汇流地类占比略有增大,增大到41%,与流域面积100~1000 km²时的占比相差不大。这可能是因为这2个面积区间的汇流地类个数差别不是很大。

4 结 论

a. 山东省平原面积占比为69.40%(包含台地),丘陵面积占比为17.86%,山地面积占比为12.74%。平原、丘陵、山地3种地貌划分的坡度临界值为1.8°和5°。

b. 山东省土地利用类型有8个大类,分别为旱地、水田、林地、草地、水域、建设用地、裸土地和未利用土地。其中旱地面积最大,占比为63.91%;其次是建设用地,占比为17.64%。

c. 山东省汇流地类分为平原-旱地、平原-建设用地、丘陵-旱地、平原-草地、平原-水田等22类。其中平原-旱地面积占比最大,达47.8%;其次为平原-建设用地和丘陵-旱地,面积占比分别为14.4%和11.7%。

d. 根据53个不同面积子流域的汇流地类数和最大汇流地类占比,随着面积增大,平均汇流地类数不断增加直至稳定;平均最大汇流地类占比不断减小直至稳定。

参考文献:

[1] 吴林娜. 山西水文下垫面分类探讨[J]. 华北地质矿产

- 杂志, 1996, 11(2): 260-262. (WU Linna. Approach of hydrologic underlying surface classification in Shanxi[J]. Journal of Geology and Mineral Resources of North China, 1996, 11(2): 260-262. (in Chinese))
- [2] 冯平, 魏兆珍, 李建柱. 基于下垫面遥感资料的海河流域水文类型分区划分[J]. 自然资源学报, 2013, 28(8): 1350-1360. (FENG Ping, WEI Zhaozhen, LI Jianzhu. Hydrologic type regions delineation of Haihe River Basin based on remote sensing data of underlying surface cover[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(8): 1350-1360. (in Chinese))
- [3] NATHAN R J, MCMAHON T A. Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalisation[J]. Journal of Hydrology, 1990, 121(1/2/3/4): 217-238.
- [4] 莫芳兰. 浅谈水文站网规划中的水文资料移用技术[J]. 青海水利, 1995(增刊1): 6-9. (MO Fanglan. Introduction to hydrological data transfer techniques in hydrological station network planning[J]. Qinghai Water Conservancy, 1995(Sup1): 6-9. (in Chinese))
- [5] 胡凤彬, 沈言贤, 金柳文, 等. 流域水文模型参数的水文分区法[J]. 水文, 1989(1): 34-40. (HU Fengbin, SHEN Yanxian, JIN Liuwen, et al. Hydrologic zoning method for hydrologic modeling parameters of watersheds[J]. Journal of China Hydrology, 1989(1): 34-40. (in Chinese))
- [6] 张珂, 周佳奇, 张企诺, 等. 栅格岩溶分布式水文模型[J]. 水资源保护, 2022, 38(1): 43-51. (ZHANG Ke, ZHOU Jiaqi, ZHANG Qinnuo, et al. Grid-based karst distributed hydrological model[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(1): 43-51. (in Chinese))
- [7] 涂汉明, 刘振东. 中国地势起伏度研究[J]. 测绘学报, 1991, 20(4): 311-319. (TU Hanming, LIU Zhendong. Study on relief amplitude in China[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1991, 20(4): 311-319. (in Chinese))
- [8] 曹灿, 孙瑞, 吴志祥, 等. 基于 SWAT 模型的南渡江上游流域径流对气候变化的响应[J]. 水土保持研究, 2022, 29(2): 255-264. (CAO Can, SUN Rui, WU Zhixiang, et al. Responses of streamflow to climate change in upstream of Nanduijiang River Basin based on SWAT model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(2): 255-264. (in Chinese))
- [9] LI Jiaxin, LIU Xiaopeng, HUANG Wei, et al. Investigation of the interactions and influencing variables between water and land resources in the upper Yellow River's wind-sand region[J]. Ecological Indicators, 2023, 154: 110554.
- [10] YANG Jie, HUANG Xin. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data, 2021, 13(8): 3907-3925.
- [11] SANZANA P, JANKOWFSKY S, BRANGER F, et al. Computer-assisted mesh generation based on hydrological response units for distributed hydrological modeling[J]. Computers & Geosciences, 2013, 57: 32-43.
- [12] 张旭, 蒋卫国, 周廷刚, 等. GIS 支持下的基于 DEM 的水文响应单元划分: 以洞庭湖为例[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(4): 17-21. (ZHANG Xu, JIANG Weiguo, ZHOU Tinggang, et al. Hydrological response unit division for Dongting Lake based on DEM and GIS[J]. Geography and Geo-Information Science, 2009, 25(4): 17-21. (in Chinese))
- [13] 方耀, 颜梅春, 李致家, 等. 结合土壤地形指数的流域下垫面水文分区方法[J]. 人民黄河, 2017, 39(4): 25-28. (FANG Yao, YAN Meichun, LI Zhijia, et al. Methods of soil topographic index based on basin underlying surface hydrologic division[J]. Yellow River, 2017, 39(4): 25-28. (in Chinese))
- [14] 何涯舟, 张珂, 晁丽君, 等. 基于多源遥感土壤湿度与模型数据同化的流域径流模拟[J]. 水资源保护, 2023, 39(2): 145-151. (HE Yazhou, ZHANG Ke, CHAO Lijun, et al. Watershed runoff simulation based on multi-source remotely sensed soil moisture and data assimilation[J]. Water Resources Protection, 2023, 39(2): 145-151. (in Chinese))
- [15] 颜梅春, 陈贝贝, 李致家, 等. 基于土壤地形指数和下垫面水文分区的流域模型参数率定[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2015, 43(3): 197-202. (YAN Meichun, CHEN Beibei, LI Zhijia, et al. Parameter calibration for watershed hydrology model based on soil topography index and hydrological partition of underlying surface[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2015, 43(3): 197-202. (in Chinese))
- [16] 芮孝芳. 对流域水文模型的再认识[J]. 水利水电科技进展, 2018, 38(2): 1-7. (RUI Xiaofang. More discussion of watershed hydrological model[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2018, 38(2): 1-7. (in Chinese))
- [17] 周成虎, 程维明, 钱金凯, 等. 中国陆地 1: 100 万数字地貌分类体系研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 707-724. (ZHOU Chenghu, CHENG Weiming, QIAN Jinkai, et al. Research on the classification system of digital land geomorphology of 1: 1000 000 in China[J]. Journal of Geo-information Science, 2009, 11(6): 707-724. (in Chinese))
- [18] 高玄戣. 地貌类型主维分类法的研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2006.

(收稿日期: 2023-12-12 编辑: 俞云利)