

文章编号: 1004-4353(2017)03-0271-06

基于 GIS 的延边地区道路周边 滑坡灾害易发程度分析

孙晓娟, 罗肖意, 权赫春*

(延边大学工学院 土木工程专业, 吉林 延吉 133002)

摘要: 为防治延边地区滑坡灾害,利用遥感技术(remote sensing,RS)和地理信息系统(geographic information system,GIS)对整个延边地区进行滑坡灾害易发程度分析,并在此基础上进一步分析该地区道路周边滑坡灾害易发区分布情况.首先,选择 6 个影响较大的滑坡灾害影响因子(坡度、坡向、土壤、地质、土地利用、断层),利用层次分析法(analytic hierarchy process,AHP)确定这 6 个因子的权重;然后,结合 GIS 软件的栅格数据叠加功能绘制出滑坡灾害易发程度图,并将整个研究区划分成极高、高、中和低 4 个层次;最后,将滑坡灾害易发程度图分别与道路 200、500、800、1 000 m 及 1 000 m 之外的缓冲区图叠加,以此分析各道路缓冲区范围内滑坡灾害易发区的分布特点,为道路周边滑坡灾害重点防范区的选定提供参考.

关键词: 遥感;地理信息系统;层次分析法;易发性;致灾因子

中图分类号: P694

文献标识码: A

Landslide susceptibility analysis around road based on GIS in Yanbian area

SUN Xiaojuan, LUO Xiaoyi, QUAN Hechun*

(Department of Civil Engineering, College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: For prevent and control the landslide of the Yanbian region, we use the remote sensing technology and geographic information system for the whole analyzing degree of landslide hazards in Yanbian area, and on this basis, the distribution of landslide disasters in the area of the area is further analyzed. First, we select six influential landslide disaster impact factors (slope, slope direction, soil, geology, land use, fault) to determine the weight of the six factors by using analytic hierarchy process (AHP); Then, combining the grid data overlay function of GIS software to map the vulnerability of landslide disaster. The whole research area is divided into extremely high, high, medium and low four levels. Finally, the vulnerability of the landslide is superimposed on the buffer map of 200 m, 500 m, 800 m, 1 000 m and 1 000 m respectively, in order to analyze the distribution characteristics of landslide in various road buffer zones. It provides a reliable spatial data basis for selecting the key prevention zone of the landslide disaster in the surrounding area.

Keywords: RS; GIS; AHP; susceptibility; disaster-inducing factors

山体滑坡是山体斜坡上某一部分岩土沿着一定的软弱结构面(带)产生剪切位移而整体地向斜坡下方移动的地质现象,是常见地质灾害之一,也是仅次于地震的第二大地质灾害^[1-2].我国是世界上滑坡灾害最为严重的国家之一,每年滑坡造成的经济损失巨大.滑坡的发生主要有两个条件:一

收稿日期: 2017-06-04

* 通信作者: 权赫春(1979—),男,博士,副教授,研究方向为防灾减灾、GIS&RS 应用.

是地质与地貌条件;二是内外营力(动力)和人为作用的影响.就后者条件而言,随着人类活动范围的不断扩大,越来越多的工程如公路、建筑等施工于坡体下部,从而易使坡体失去支撑而造成不同程度的滑坡灾害^[3].目前,关于延边地区滑坡灾害的研究主要以单体滑坡或是以局部小区域为对象,例如张云丰等研究了长白山地区的滑坡易发程度^[4],而关于整个延边地区滑坡灾害的研究还未见报道.基于此,本文利用 GIS 和 AHP 相结合的方法对整个延边地区道路周边易发滑坡灾害区域进行研究,旨在为延边地区防范山体滑坡灾害提供科学依据.

1 研究区状况

延边州地处吉林省东部(41°59′N~44°30′N, 127°27′E~131°18′E),区域面积占吉林省总面积的四分之一.延边地区整个地貌呈山地、丘陵、盆地 3 个梯度,其中山地(占延边总面积的 54.8%)多分布在山岭周边,丘陵多分布在山地边沿,盆地多分布在江河两岸和山岭之间.延边州属中温带湿润季风气候,春季干燥多风,夏季温热多雨,秋季凉爽少雨,冬季寒冷漫长^[5].近年来,长白山地区的构造地震十分活跃(部分长白山区属延边州管辖),极易引发地震、滑坡、泥石流等各种自然灾害,尤其是滑坡灾害.

2 滑坡灾害影响因子

本研究选择了对滑坡发生影响较大的 6 个滑坡灾害影响因子,分别为坡度、坡向、土壤、地质、土地利用、断层,并利用层次分析法确定这 6 个因子的权重.

2.1 地形地貌

本文采用 DEM(digital elevation model)数字高程模型分析研究区域的地形地貌特点,该模型主要用来研究地面的起伏状态,其线模式可描述高程曲线的等高线.本文利用 DEM 分别生成坡度图和坡向图,DEM 数据来自于 NASA 网站提供的 ASTER 全球 DEM 数据,分辨率为 20 m.

2.1.1 坡度 坡度为过地面某点的水平面与切平面之间的夹角,表示斜坡的陡峭程度,是地形地貌中对各种地质灾害影响最大的一个因素.只有处于一定的地貌部位,且具有一定的斜坡,才可能

发生滑坡,且坡度越大,产生滑坡的可能性就越大;但有研究表明,随着坡度的增大,坡体岩性产生变化,坡度陡的有些地方抗风化能力增强,反而产生滑坡的概率变小^[6].坡度的计算公式为:

坡度=(高程差/水平距离)×100%.

本文根据不同坡度范围内的坡度对滑坡影响的重要程度将坡度分为 4 类,并对这 4 类进行重分类,以此来研究坡度对滑坡的影响.坡度图概况及比例尺如图 1 所示,根据实际发生滑坡的坡度统计资料对坡度图进行重分类的结果如表 1 所示.

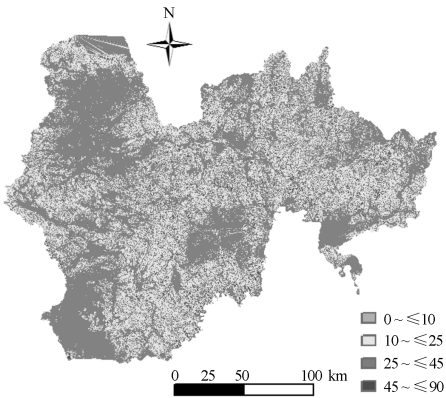


图 1 坡度图

表 1 坡度重分类划分结果

因子	分类	相对重要度/%
坡度	0°~≤10°	6
	10°~≤25°	12
	25°~≤45°	38
	45°~≤90°	32

2.1.2 坡向 坡向为坡面法线在水平面上的投影方向,其对降水具有一定影响.对于一般山体而言,来自西南的暖湿气流在南北或偏南北走向山脉的西坡和西南坡易形成降水,而东南暖湿气流在东坡和东南坡易形成降水.本文将坡向划分为 4 类,并对这 4 类进行重分类,以此研究坡向对滑坡的影响.坡向图概况及比例尺如图 2 所示,根据实际发生滑坡的坡向统计资料对坡向图进行重分类的结果如表 2 所示.

2.2 土壤情况

土壤的组成成分、渗透率和风化程度以及富水程度对滑坡有较大影响.对于各类岩、土体而言,如果具有蓄水构造、聚水条件和软弱面等就容易形成滑坡.本文将土壤中含水率作为致灾因子,将土壤划分为 4 类,并对这 4 类进行重分类,以此

对山体滑坡的易发程度进行研究. 土壤图概况及比例尺如图 3 所示,数据来源是地质矿产部 1999 年绘制的 1 : 50 万的土壤图. 根据实际发生滑坡的土壤富水程度统计资料对土壤图进行重分类的结果如表 3 所示.

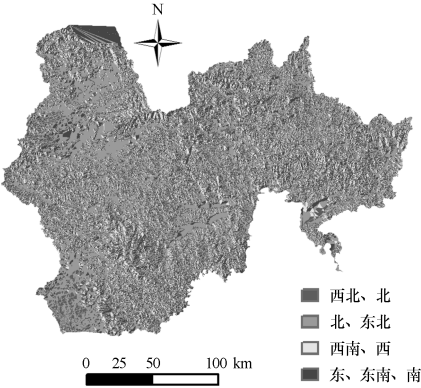


图 2 坡向图

表 2 坡向重分类划分结果

因子	分类	相对重要度 / %
坡向	东、东南、南	36
	西南、西	29
	北、东北	21
	西北、北、	14

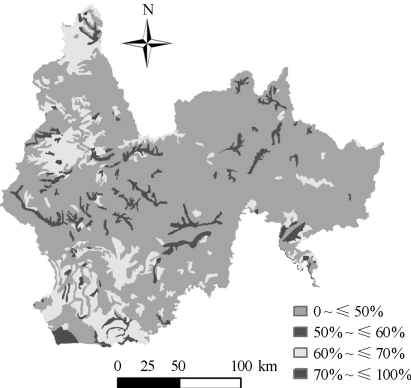


图 3 土壤图

表 3 土壤重分类划分结果

因子	分类(富水程度 / %)	相对重要度 / %
土壤	0 ~ <= 50	9
	50 ~ <= 60	18
	60 ~ <= 70	27
	70 ~ <= 90	46

2.3 水文地质情况

水文地质是指自然界中地下水的各种变化和运动的现象,其对滑坡的产生具有重要影响. 本文根据富水程度将水文地质划分为 4 类,并对这 4

类进行重分类,以此研究每一类水文地质对山体滑坡造成的影响程度. 水文地质图概况及比例尺如图 4 所示,数据来源是地质矿产部 1999 年绘制的 1 : 50 万的水文地质图. 根据实际发生滑坡的地质相关统计资料对地质图进行重分类的结果如表 4 所示.

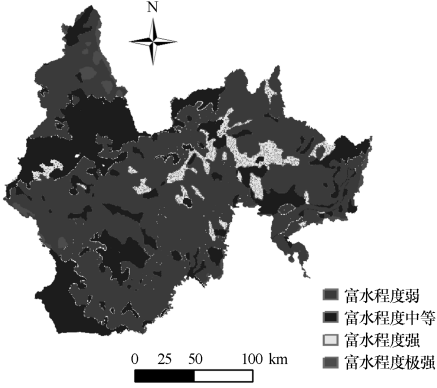


图 4 水文地质图

表 4 水文地质重分类划分结果

因子	分类	相对重要度 / %
水文地质	富水程度极强	33
	富水程度强	28
	富水程度中等	22
	富水程度弱	17

2.4 土地利用情况

土地利用图能够直观地反映人类对自然土体的应用情况. 本文将土地利用划分为 4 类,分别为居民区、果园、河流、森林,并对这 4 类进行重分类,以此研究不同的土地利用对山体滑坡造成的影响程度. 土地利用图概况及比例尺如图 5 所示,根据实际发生滑坡的地表信息和各个地表特征对滑坡产生的不同影响程度对土地利用进行重分类的结果如表 5 所示.

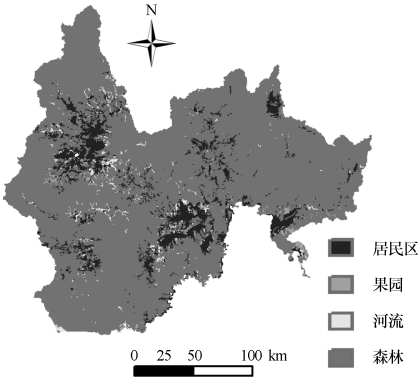


图 5 土地利用图

表 5 土地利用重分类划分结果

因子	分类	相对重要度/%
土地利用	居民区	8
	果园	17
	河流	25
	森林	50

2.5 断层

以断层为中心建立缓冲区,将缓冲区 500 m (以断层为中心)之内(≤ 500 m)划分为 3 类,500 m 之外划分为 1 类,并对这 4 类进行重分类,以此来研究断层附近的情况,以确定山体滑坡的发生与断层远近的关系.断层图概况及比例尺如图 6 所示,根据离断层的距离对滑坡的影响程度和相关实际发生的滑坡统计资料进行重分类的结果如表 6 所示.

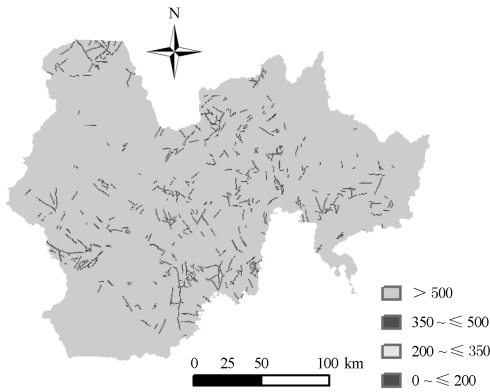


图 6 断层图

表 6 断层缓冲区重分类划分结果

因子	分类	相对重要度/%
断层	0~ ≤ 200 m	35
	200~ ≤ 350 m	29
	350~ ≤ 500 m	24
	>500 m	12

3 基于 AHP 的影响因子权重分析

AHP 能够把复杂系统的决策思维进行层次化,把决策过程中定性和定量的因素有机地结合起来,通过判断矩阵的建立、排序计算和一致性检验,将人的主观性依据用数量的形式表达出来,从而使得到的结果具有说服力^[7-8].本文通过参考相关论文资料^[9-10]和专家意见,给出判断矩阵和权重,如表 7 所示.

对判断矩阵进行一致性检验,设判断矩阵的最大特征根和特征向量分别为 λ_{\max} 和 \mathbf{W} .本文应

用 Excel 中的 MMULT 方程计算 λ_{\max} , \mathbf{W} 和 CR 值,以此判断其能否满足一致性.经计算得出特征向量 $Sum = [2.877\ 74, 1.286\ 239, 0.864\ 553, 0.542\ 437, 0.258\ 24, 0.170\ 79]$,特征向量 Sum 行之和为 6.279 935.再经归一化处理得 $\mathbf{W} = [0.479\ 623, 0.214\ 373, 0.144\ 092, 0.090\ 406, 0.043\ 04, 0.028\ 465]$.经计算,一致性指标(CI)为 0.056, $RI = 1.24$, $CR = CI/RI = 0.045 < 0.1$,由此知满足一致性要求.

表 7 不同山体滑坡致灾因子的判断矩阵和权重

因子	坡度	地质	土壤	土地利用	断层	坡向
坡度	1	4	5	6	8	9
地质	1/4	1	2	3	6	8
土壤	1/5	1/2	1	2	4	7
土地利用	1/6	1/3	1/2	1	3	4
断层	1/8	1/6	1/4	1/3	1	2
坡向	1/9	1/8	1/7	1/4	1/2	1
权重	0.48	0.22	0.14	0.09	0.04	0.03

4 滑坡灾害易发程度分析

利用 GIS 软件对滑坡相关因子图形(坡度图、坡向图、水文地质图、土壤含水率图、土地利用图、断层缓冲区图)进行信息提取和重分类,并结合 AHP 层次分析法确定各个因子的权重,最后利用 GIS 软件中的栅格数据叠加功能生成叠加图,即延边地区山体滑坡易发程度图.将本研究区最终的易发程度图的极高危险区域和高危险区域与该区历史上发生滑坡的滑坡点图进行比较、分析,结果显示其吻合程度约达 80%.

4.1 基于 GIS 软件的滑坡灾害易发程度分析

采用 AHP 法计算各致灾因子的权重,然后利用栅格数据叠置分析法对其进行计算和分析.在栅格数据内部,叠加运算是通过像元之间的各种运算来实现的.设 x_1, x_2, \dots, x_n 分别表示第 1 层至第 n 层上同一坐标属性值,函数 f 表示各层属性与用户需求之间的关系, E 为叠置后属性输出层的属性值,则 $E = f(x_1, x_2, \dots, x_n)^{[11]}$.

按照上述方法对 6 个因子进行重分类,然后利用 GIS 栅格叠加法对得到的 6 个因子的权重值进行叠加,最终得到延边地区的山体滑坡易发程度图,整个计算流程如图 7 所示.在易发程度图中用 0~1 之间的数来表示易发程度大小,越接近

1 表示越容易发生滑坡. 易发程度图如图 8 所示, 图中各个范围的易发程度如表 8 所示.

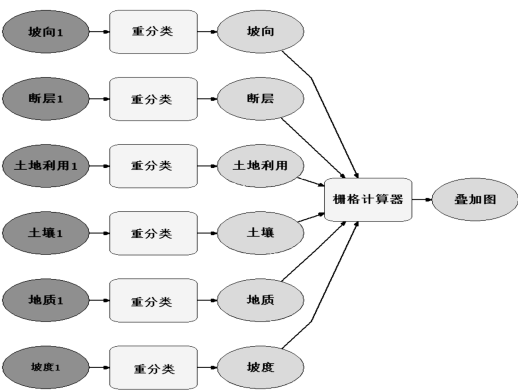


图 7 栅格数据叠加过程图

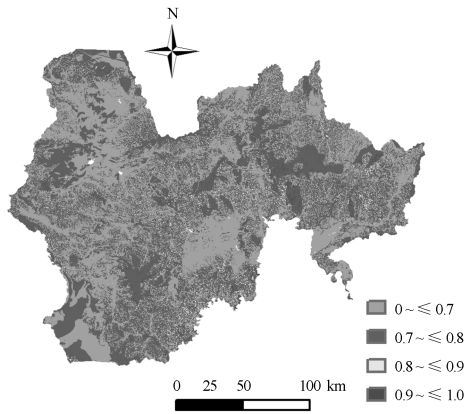


图 8 易发程度图

表 8 易发程度图重分类划分结果

分类	滑坡易发程度
$0 \sim \leq 0.7$	低危险
$0.7 \sim \leq 0.8$	中危险
$0.8 \sim \leq 0.9$	高危险
$0.9 \sim \leq 1.0$	极危险

4.2 基于 GIS 的道路周边滑坡灾害分析

本文以道路为中心建立缓冲区, 将缓冲区 200 m 之内 (≤ 200 m, 以道路为中心) 划分为第 1 类, 500 m 之内 (≤ 500 m) 划分为第 2 类, 800 m 之内 (≤ 800 m) 划分为第 3 类, 1 000 m 之内 ($\leq 1\,000$ m) 划分为第 4 类, 1 000 m 之外 ($> 1\,000$ m) 划分为第 5 类, 并将这 5 类缓冲区与 6 个因子的易发程度图的极危险区域和高危险区域叠加, 根据各自相交面积占各自区域面积的百分比来分析道路周边的山体滑坡情况. 道路 200 m 范围内最危险区域的分布图如图 9 所示.



图 9 道路 200 m 范围内最危险区域分布图

5 结果与分析

利用 GIS 栅格叠加法对坡度图、土壤图、地质图、土地利用图、断层图、坡向图进行叠加得到延边地区的山体滑坡易发程度图, 其各危险区域面积分别为: 极危险区域 394.03 km²、高危险区域 1 388.39 km²、中危险区域 2 195.58 km²、低危险区域 4 523.83 km² (图 10).

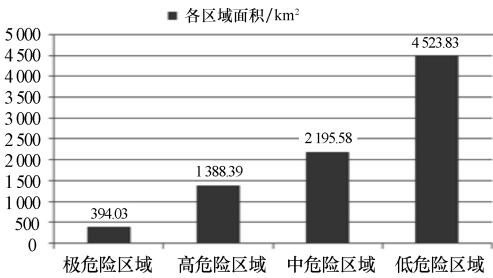


图 10 易发程度图各区域面积

延边地区的易发山体滑坡各区域面积 (图 10) 与道路缓冲区相交面积为: 极危险区域与道路 200 m 内缓冲区相交面积为 81.94 km², 与道路 500 m 内缓冲区相交面积为 121.79 km², 与道路 800 m 内缓冲区相交面积为 122.25 km², 与道路 1 000 m 内缓冲区相交面积为 94.57 km², 与道路 1 000 m 以外缓冲区相交面积为 239.11 km², 如图 11 所示.

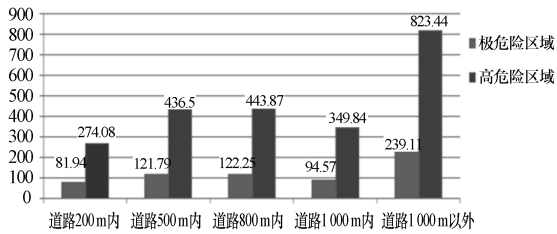


图 11 道路各缓冲区相交面积 (km²)

6 结论

本研究通过对延边地区道路周边滑坡灾害易发程度分析得出以下结论: ①由层次分析法得出, 在 6 个影响滑坡发生的因子(坡度、地质、土壤、土地利用、坡向和断层)当中, 坡度、地质和土壤的影响相对较大. ②从图 11 可以看出, 道路 500 m 内发生滑坡的概率比较大, 因此该范围内应作为重点防范区域. ③由图 8 可以看出, 延边州的安图县西南部(长白山区域)、龙井东南部与朝鲜交界处、延吉与和龙东南部地区的道路周边危险区域分布较多, 应重点防范. 本文结果可为延边地区防范山体滑坡灾害提供科学依据. 本文在研究中仅仅考虑了影响滑坡发生相对较大的因子, 没有考虑其他因子的影响, 比如降水量; 因此, 今后将利用 BP 神经网络模型与 AHP 相结合的方法, 结合相关多种因子进行研究, 以期望得到更准确的结果.

参考文献:

[1] 周云, 李伍平, 浣石, 等. 防灾减灾工程[M]. 北京: 中

国建筑工业出版社, 2007: 152-153.

- [2] 段永侯. 我国地质灾害的基本特征与发展趋势[J]. 第 4 纪研究, 1999, 19(3): 208-216.
- [3] 郭弘. 刍议山体滑坡的成因及治理措施[J]. 科技致富向导, 2012, 14: 401-402.
- [4] 张云丰, 金素月, 安怀德, 等. 基于 GIS 的长白山地区山体滑坡易发程度分析[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2013, 47(4): 12-20.
- [5] 曲家媛. 基于 P-S-R 模型的延边州生态安全评价研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2010: 12-14.
- [6] 李巍岳, 刘春, Scaioni M, 等. 基于滑坡敏感性与降雨强度-历时的中国浅层降雨滑坡时空分析与模拟[J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(4): 473-484.
- [7] Saaty T L. The Analytic Hierarchy Process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980: 11-76.
- [8] 朱茵, 孟志勇, 阚叔愚. 用层次分析法计算权重[J]. 北方交通大学学报, 1999, 23(5): 119-122.
- [9] 李天斌, 陈明东, 王兰生. 滑坡实时跟踪预报[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999: 3-6.
- [10] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433-454.
- [11] 汤国安, 刘学军, 闫国年, 等. 地理信息系统教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 213-214.

(上接第 232 页)

参考文献:

- [1] 魏晓, 欧三桃. 综合防治, 延缓进展: 2014 年版《中国糖尿病肾病防治专家共识》解读[J]. 实用医学杂志, 2016, 32(1): 1-3.
- [2] 郑明昱, 延光海, 崔海英. 中国朝医学·古籍精选卷[M]. 延吉: 延边大学出版社, 2015.
- [3] 金香男. 朝医千金文武汤加减治疗太阴人消渴病[J]. 中国民族民间医药, 2010, 19(22): 150-150.
- [4] 贾跃伟, 刘晓萍, 于业军, 等. 不同途径骨髓基质干细胞移植治疗小鼠糖尿病效果[J]. 青岛大学医学院学报, 2010, 46(3): 255-257.
- [5] 张媛媛, 侯卫平, 袁发. EGCG 对肾脏疾病保护作用的研究进展[J]. 中国中西医结合肾病杂志, 2013, 14(11): 1022-1024.
- [6] 钱溢. 精选中药小复方对糖尿病肾病小鼠肾脏保护作用的研究[D]. 长春市: 长春中医药大学, 2014.
- [7] Shan X, Edward C, Shweta D, et al. Mitochondrial E3 ubiquitin ligase MARCH5 controls mitochondrial fission and cell sensitivity to stress-induced apop-

tosis through regulation of MiD49 protein[J]. Molecular Biology of the Cell, 2016, 27(2): 349.

- [8] Cifarelli V, Geng X, Styche A, et al. C-peptide reduces high-glucose-induced apoptosis of endothelial cells and decreases NAD(P)H-oxidase reactive oxygen species generation in human aortic endothelial cells[J]. Diabetologia, 2011, 54(10): 2702-2712.
- [9] Natarelli L, Ranaldi G, Leoni G, et al. Nanomolar caffeic acid decreases glucose uptake and the effects of high glucose in endothelial cells[J]. Plos One, 2015, 10(11): e0142421.
- [10] 郭景珍, 李平, 万方, 等. 糖肾方对 II 型糖尿病肾病模型 OLETF 大鼠 IL-10、TNF- α 、DA 调控作用观察[J]. 中国中西医结合肾病杂志, 2011, 12(12): 1044-1047.
- [11] 韩鹏飞, 李洪志, 于晶, 等. 姜黄素及其类似物通过抑制炎症因子对糖尿病肾病小鼠的治疗作用[J]. 时珍国医国药, 2017, 28(1): 77-81.