

海南岛山洪灾害风险区划研究

刘少军^{1,2}, 张京红^{1,2}, 张明洁¹, 车秀芬¹

(1. 海南省气候中心, 海口 570203; 2. 南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203)

摘 要:在海南岛暴雨风险普查资料收集的基础上,以海南岛 140 个小流域为单元,选择了地形因子、水系因子、暴雨指数、滑坡和泥石流密度、综合灾度 6 个因子作为山洪灾害的危险性指标,通过层次分析法计算海南岛山洪灾害危险性;选择人口密度比、耕地百分比、GDP 百分比、基础设施百分比作为易损性指标;通过风险=危险性×易损性,在 ArcGIS 中完成了海南岛山洪灾害的风险区划图,并通过历史山洪数据对其进行检验,结果表明:海南岛山洪灾害的风险区划图中的高风险区和次高风险区平均覆盖了历史山洪灾害的 72% 的范围,能在一定程度上说明区划结果的合理性,该成果可在海南岛的山洪防灾减灾工作中发挥重要作用。

关键词:山洪; 风险区划; 海南岛

中图分类号:S165+.25

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)05-165-05

Research on Risk Zonation of Mountain Torrent Disasters in Hainan Island

LIU Shao-jun^{1,2}, ZHANG Jing-hong^{1,2}, ZHANG Ming-jie¹, CHE Xiu-fen¹

(1. Hainan Climate Center, Haikou 570203, China;

2. Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing of South China Sea, Haikou 570203, China)

Abstract: Terrain factor, water system factor, rainstorm index, landslides and debris flow density, integrated disaster were chosen to create torrent hazard risk assessment by AHP in 140 small watersheds of the Hainan Island, which were depended on the rainstorm risk data collection; percentage of population density, arable land, GDP, infrastructure were chosen to create the vulnerability indicators; by risk = hazard × vulnerability, the map of risk zonation of mountain torrents disasters was finished in ArcGIS, it was tested through the history of mountain torrent disaster data. The results showed that Hainan Island mountain torrent disaster risk zonation map in high-risk areas and second high risk areas covered about 72% of the historical mountain torrent disasters, which was in the reasonable range, which will play an important role in guiding Hainan Island mountain torrent disaster prevention and mitigation in Hainan Island.

Key words: mountain torrent disaster; risk zonation; Hainan Island

山洪灾害是指由于降雨在山丘区引发的洪水及由山洪诱发的泥石流、滑坡等对国民经济和人民生活财产造成损失的灾害^[1]。山洪灾害风险评价对于减灾防灾决策和管理具有非常重要的意义^[2],国内有不少学者开展山洪风险评价和区划方面的工作:朱静^[2]建立了基于遥感和 GIS 的城市山洪灾害风险评价方法,并以云南省文山县城为例,开展了城市山洪灾害风险评价;唐川等^[3]采用多目标评估方法开展了城市山洪灾害研究;刘兰芳等^[4]从系统角度入手,引用综合风险指数测定灾害损失,开展了衡阳市山洪灾害风

险分析;唐余学等^[5]从山洪灾害形成的动力条件、孕灾环境、降水背景出发,建立了重庆市山洪灾害区划模型,开展了重庆市山洪灾害区划;王兴菊等^[6]选择降雨、地形地质、经济社会等因素,建立了基于矢量数据的 GIS 指数模型开展了山洪灾害防治区划;管珉等^[7]从影响山洪灾害形成与发展暴雨气候、地形坡度、河网分布等因子出发,开展了江西省山洪灾害危险性评价;唐川等^[8]从危险评价与易损性评价方面选择评估因子,开展了红河流域的山洪灾害风险区划;詹小国等^[9]选择最大 3 d 降雨量、集流面积、坡度、土

收稿日期:2013-02-19

修回日期:2013-03-14

资助项目:国家自然科学基金(41175096, 41265007);中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2013M38);海南省自然科学基金项目(409005);华南区域气象中心科技攻关项目(GRMC2012M11)

作者简介:刘少军(1980—),男,湖北天门人,博士,副研究员,研究方向为气象灾害风险评估研究。E-mail:cdutlsj@163.com

地利用,并考虑山洪引起滑坡泥石流和水土流失灾害的因素,开展了以三峡库区湖北片区的山洪灾害风险区划;任洪玉等^[10]以湖南和陕西为例,从影响山洪灾害发生的主要因素,分析了山洪灾害的区域差异性;张平仓等^[11]分析中国山洪灾害发育现状、成因、时空分布特征,并将中国山洪灾害防治区划分成 3 个区域;程卫帅等^[12]对于山洪资料齐全与不齐全的地区,给出了不同的风险评价和区划方法。由于山洪灾害的形成受多种因素的影响,每一种因素又包含众多的表现形式^[3],导致山洪灾害风险评价和区划的复杂性。山洪灾害具有自然与社会双重属性,可认为是自然灾变与脆弱的承灾体相互作用的产物^[13]。本文将海南岛山洪的危险性作为其自然属性的体现,将承灾体的经济易损性作为其社会属性的体现,开展海南岛山洪灾害风险区划。

1 数据和方法

1.1 数据

降水资料:海南岛 18 个市县年降水量和 1961—2010 年 18 个市县暴雨数据;灾害资料:1971—2008 年海南岛 18 个市县山洪灾害记录;1971—2008 年海南岛 18 个市县滑坡泥石流资料;海南岛 DEM 数据。

1.2 方法

(1) 海南岛山洪区划范围的确定。海南岛四周低平,中间高耸,呈穹隆山地,以五指山(主峰海拔 1 867.1 m)和鹦歌岭(主峰海拔 1 811.6 m)为隆起核心,向外围逐级下降,由山地、丘陵、台地、平原构成环形层状地貌,梯级结构明显。海南岛比较大的河流大都发源于中部山区,组成辐射状水系。全岛独流入海的河流共 154 条,其中集水面积超过 100 km² 的有 38 条。南渡江、昌化江、万泉河为海南岛三大河流,集水面积均超过 3 000 km²。由于海南岛山洪灾害都是以小流域为单元开展普查的,为了结合海南岛山洪灾害普查数据,开展海南岛山洪灾害风险区划,海南岛山洪灾害风险区划限定在海南岛所有的小流域范围内,其他平原区域暂不考虑。小流域是山丘区容易由强降雨引起的突发性、暴涨暴落的地表径流的中小河流,一般流域面积小于 200 km²。小流域提取根据海南岛 DEM 数据在 ArcGIS 中实现,具体分为:填洼处理、生成流向、汇流计算、水系提取、流域划分和流域单元合并等过程,全岛划分为 140 个子流域,具体分布见图 1。

(2) 风险区划方法。山洪灾害风险区划是指根据研究区山洪危险性特征,并参考区域承灾能力及社会经济状况,把山洪灾害划分为不同风险等级的区

域^[8]。根据山洪灾害区划定义,区划方法采用联合国人道主义事务部(UNDHA)提出的其风险表达式:风险=危险性×易损性。



图 1 海南岛小流域边界

2 山洪灾害危险性分析

山洪灾害与其它自然灾害一样,其致灾因素具有自然和社会经济的双重属性,具体表现为它的形成与发展主要受降雨因素、地形地质因素、经济社会因素 3 大因素的影响^[11]。山洪灾害危险性分析是对研究区山洪灾害的孕灾环境或致灾因子的各种自然属性特征的概率分布作出评价^[8]。因此在危险性评价方面选择地形因子、水系因子、暴雨日指数、滑坡和泥石流密度、综合灾度作为海南岛山洪灾害危险性评因子。

2.1 地形因子

地形是影响山洪泛滥的重要因素,地形相对高程越低,地形变化越小,越容易引发山洪灾害^[8]。地形对形成山洪灾害的影响表现在地形变化程度和地形高程两个方面^[14]。地形变化一般用坡度来表示,但实际上相邻范围内地形起伏的变化很大程度上决定了山洪的危险程度,因此可以采用相对高程标准差来代替坡度。相对高程标准差越小,说明该处附近地形变化也越小,越容易形成洪水^[15]。因此,选择相对高程标准差和地形高程来反映地形对山洪灾害的影响程度。根据绝对高程和相对高程标准差,确定其对山洪灾害的综合地形因子影响度关系(表 1),通过计算,得到海南岛山洪灾害的地形因子影响度(图 2)。

表 1 山洪灾害综合地形因子影响度

地形标准差	地形高度/m				
	<100	100~300	300~500	500~800	>800
一级(<1)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
二级(1~10)	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
三级(>10)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3

2.2 水系因子

由于距离河流、湖泊、水库等越近,山洪灾害危险程度就越高^[8]。因此采用缓冲区分析方法分别赋值,计算河道、湖泊、水库等水系对山洪危险性的影响程度。其中湖泊和水库缓冲区、河流缓冲区划分标准见表2—3,河网密度和缓冲区影响经规范化处理后,各取权重0.5,通过加权综合评价法求得水系影响指数,研究区的水系影响度见图3。

表2 湖泊和水库缓冲区等级和宽度的划分标准^[16]

水域面积/ km ²	缓冲区宽度/km	
	一级缓冲区	二级缓冲区
10~100	0.5	1
100~1000	2	4
1000~2000	3	6
>2000	4	8

2.3 暴雨影响指数

选取暴雨过程频次和强度作为山洪灾害的致灾

因子,具体方法是先统计1961—2010年海南岛各气象台站1天、2天、3天、…10天(含10天以上)的暴雨过程降水量,并将其建立成10个50年长度的暴雨降水序列,再分别计算10个序列的第98百分位数、第95百分位数、第90百分位数、第80百分位数、第60百分位数的降水量值,划分为5个相应的暴雨强度等级,再计算台站在不同暴雨等级中的暴雨过程频次,根据暴雨强度等级越高,对山洪形成所起作用越大的原则,确定降水致灾因子权重,将暴雨强度5,4,3,2,1级权重分别取作5/15,4/15,3/15,2/15,1/15,利用加权综合评价法,得到暴雨影响指数(图4)。

表3 河流缓冲区等级和宽度的划分标准^[16]

项目	一级河流		二级河流	
	一级缓冲区	二级缓冲区	一级缓冲区	二级缓冲区
缓冲区	8	12	6	10
宽度/km				

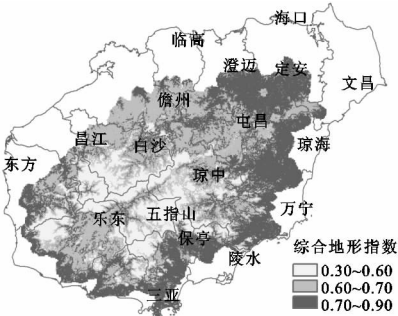


图2 海南岛山洪灾害综合地形影响指数

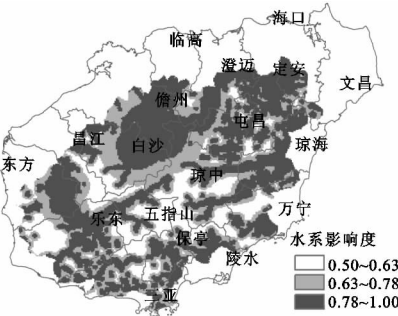


图3 海南岛山洪灾害水系影响指数

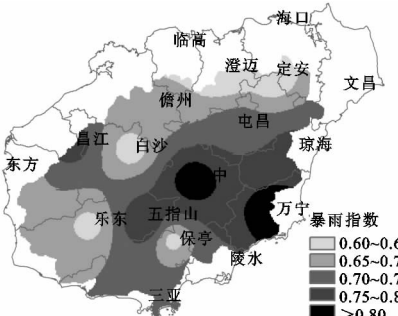


图4 海南岛山洪灾害暴雨影响指数

2.4 泥石流、滑坡密度

根据山洪灾害的定义,泥石流、滑坡是山洪灾害中的主要类型,在山洪灾害危险性分析中对该因子需要重点考虑^[8,17-18]。根据1:10万比例尺的海南省泥石流、滑坡灾害分布图提供的数据,按每10 km×10 km面积统计泥石流、滑坡数目,分别计算出泥石流、滑坡密度分布图(图5—6)。

2.5 综合灾度

历史山洪灾害损失可以反映山洪发生的频率、规模和泛滥范围,能较全面反映该区域山洪未来发生的可能性^[8]。根据海南省三防办和海南省气象局的

洪灾害资料统计数据(1971—2008年),以小流域为单位计算其综合灾度。

综合灾度=(A+B+C+D)/4

式中:A——各流域死亡人数/总流域死亡人口;B——各流域平均倒塌房屋数/总流域平均总倒塌房屋数;C——各流域平均直接经济损失/总流域平均总直接经济损失;D——各流域平均受灾人口/总流域平均总受灾人口。根据收集的山洪灾害的灾情资料,统计数据按以上公式进行计算,并进行格栅化处理,为了参与其他图层的运算,对综合灾度进行归一化处理,得到山洪灾害归一化综合灾度分布(图7)。

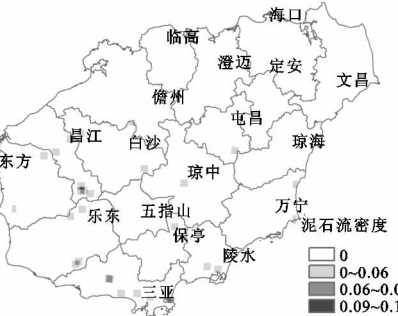


图5 海南岛泥石流密度指数

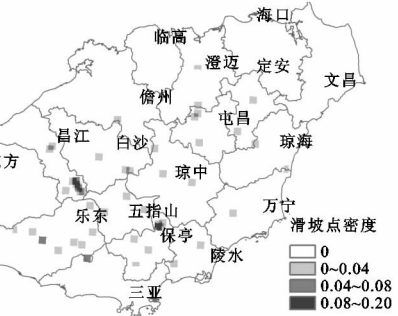


图6 海南岛滑坡密度指数

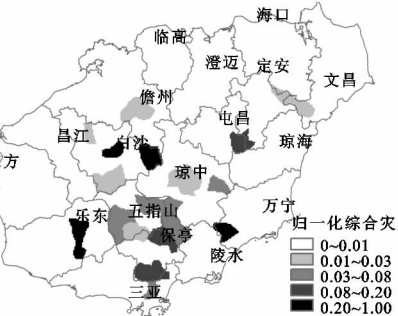


图7 海南岛山洪灾害综合灾度

2.6 山洪灾害危险性集成

山洪灾害的危险性包括地形因子、水系因子、暴雨日指数、滑坡和泥石流密度、综合灾度 6 种因子的综合影响,需要对其进行归一化处理,然后对不同影响因子赋予不同的权重,计算综合危险性。在广泛征求山洪灾害研究领域专家和学者意见的基础上,利用层次分析法,对地形因子、水系因子、暴雨日指数、滑坡和泥石流密度、综合灾度等的权重值进行计算,并根据实际需要进行适当修正,确定了 6 个因子的权重分别 0.13,0.20,0.12,0.14,0.14,0.10。同时对 6 个因子进行归一化处理,在 ArcGIS 中进行叠加运算,得到山洪灾害的综合危险性指数。利用 GIS 中自然断点分级法,将危险性指数按 5 个等级进行区划(高危险区、次高危险区、中等危险区、次低危险区、低危险区),得到山洪灾害危险性区划图(图 8)。其中高危险区面积占整个流域范围内面积的 26.3%、次高危险区占 32.2%、中等危险区 20.9%、次低危险区 11.4%、低危险区 9.2%。从山洪危险性分区图中可以看出海南岛的北部和东部山丘地带危险性较高,中部山区的大部分区域危险性较低。

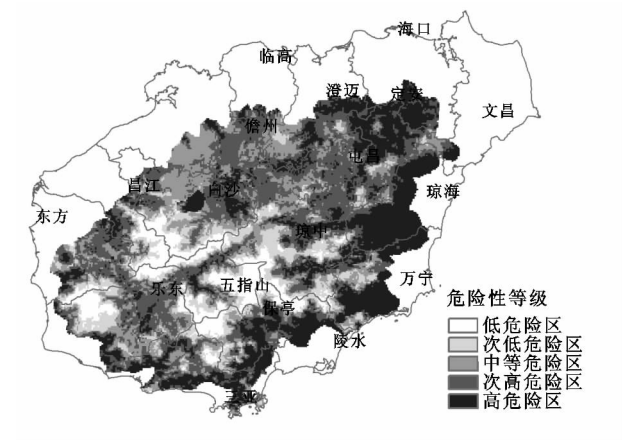


图 8 海南岛山洪灾害危险性区划

3 山洪灾害易损性分析

自然灾害研究和减灾的关键是承灾体的易损性。易损性可以分为自然易损性、经济易损性、社会易损性。山洪灾害造成的损失和危害很大程度上取决于承灾体承受能力,即社会经济易损性的大小^[8]。因此山洪灾害的易损性选择以小流域为单元的人口密度比、耕地百分比、GDP 百分比、基础设施百分比(其中计算基础设施百分比构成的要素为以小流域为单元:过境公路、过境铁路、桥梁、输电设施、通讯设施、水利设施等价值)。在 ArcGIS 中加权综合法计算综合承灾体易损性指数,划分为 1 km×1 km 网格的数据,之后进行归一化处理,得到海南岛山洪灾害易损性分

布(图 9)。

社会经济易损性指标=(A+B+C+D)/4

式中:A——各流域(市)人口密度比值;B——各流域耕地面积比值;C——各 GDP 比值;D——各流域重要基础设施百分比值。

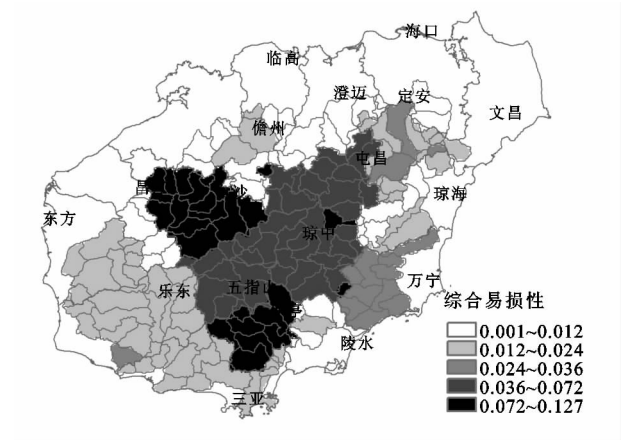


图 9 海南岛山洪灾害易损性分布

4 风险区划

4.1 风险区划结果

根据风险=危险性×易损性,将山洪灾害危险性分布图与山洪灾害易损性分布图在 ArcGIS 中进行运算,利用 GIS 中自然断点分级法,并参考历史山洪灾情的损失程度,按数值>0.38,0.38~0.24,0.24~0.13,0.13~0.06 和<0.06,将风险性指数按 5 个等级进行区划(高风险区、次高风险区、中等风险区、次低风险区、低风险区),得到海南岛山洪灾害风险区划图(图 10)。其中高风险区面积占整个研究区范围内面积的 3.7%,次高风险区占 12.6%、中等风险区 19.3%、次低风险区 27%、低风险区 37.4%。

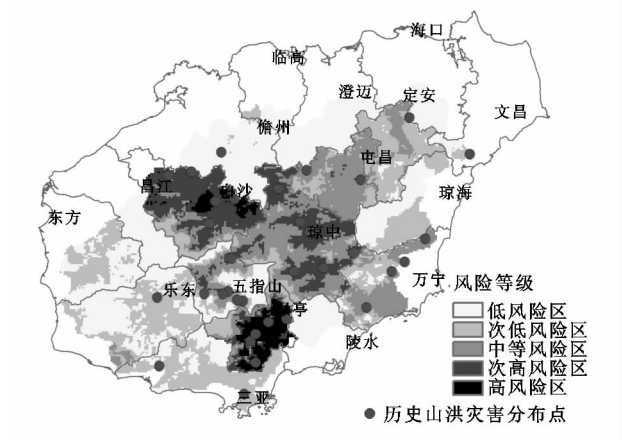


图 10 海南岛山洪灾害风险区划

4.2 区划结果验证

区划后的结果需要和历史的灾情数据进行对比,以检验其合理性,采用 1971—2008 年海南岛 18 个市县山洪灾害记录的数据与山洪灾害风险区划图进行

验证。从图 10 可以看出,区划图中的高风险区和次高风险区平均覆盖了历史山洪灾害的 72% 的范围,初步的验证能在一定程度上说明海南岛山洪灾害风险区划的合理性,对指导未来的山洪防灾减灾工作具有一定的意义。

5 结论

在海南岛暴雨风险普查资料收集的基础上,针对海南地形特点,以山丘为主要范围,根据 DEM 数据提取海南岛山洪区划范围,并划分为 140 个小流域单元;在 140 个小流域为单元的基础上,分别得到海南岛山洪灾害危险性数据和经济易损性数据,通过联合国人道主义事务部(UNDHA)提出的其风险表达式:风险=危险性 \times 易损性,在 ArcGIS 中实现了海南岛山洪灾害的风险区划图,并通过历史山洪数据对其进行检验。

本文存在不足:计算危险性的权重和评价指标的选择,存在一定的主观性,需要进一步的完善;由于实际山洪收集资料的限制,进行结果检验时,可能存在一定的偏差。

致谢:本项目同时得到中国气象局《2012 年全国暴雨洪涝灾害风险普查》项目的资助,同时感谢海南省三防、海南省国土资源厅在资料收集方面给予的大力支持,在此表示谢意。

参考文献:

- [1] 张平仓,任洪玉,胡维忠,等.中国山洪灾害防治区划初探[J].水土保持学报,2006,20(6):196-200.
- [2] 朱静.城市山洪灾害风险评价:以云南省文山县城为例[J].地理研究,2010,29(4):655-654.
- [3] 唐川,师玉娥.城市山洪灾害多目标评估方法探讨[J].地理科学进展,2006,25(4):13-21.
- [4] 刘兰芳,邓美容,廖梦思.湖南省山洪灾害综合风险分析及安全减灾研究:以 2006 年衡阳市山洪灾害为例[J].中国安全科学学报,2009,19(10):5-10.
- [5] 唐余学,廖向花,李晶,等.基于 GIS 的重庆市山洪灾害区划[J].气象科技,2011,39(4):423-428.
- [6] 王兴菊,卢岳,郝玉伟.基于 GIS 指数模型的山洪灾害防治区划方法研究[J].水电能源科学,2011,29(9):54-57.
- [7] 管珉,陈兴旺.江西省山洪灾害风险区划初步研究[J].暴雨灾害,2007,26(4):339-343.
- [8] 唐川,朱静.基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J].地理学报,2005,60(1):87-94.
- [9] 詹小国,祝国瑞,文余源.综合评价山洪灾害风险的 GIS 方法[J].长江科学院院报,2003,20(6):48-50.
- [10] 任洪玉,张平仓,黄钰铃,等.中国山洪灾害的区域差异性研究:以湖南和陕西为例[J].中国农学通报,2006,22(8):569-573.
- [11] 张平仓,任洪玉,胡维忠,等.中国山洪灾害防治区划初探[J].水土保持学报,2006,20(6):196-200.
- [12] 程卫帅,陈进.山洪灾害风险度评价技术综述[J].人民长江,2004,35(12):5-7.
- [13] 苏桂武,高庆华.自然灾害风险的分析要素[J].地学前缘,2003,10(特刊):272-2791.
- [14] 周成虎,万庆,黄诗峰,等.基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J].地理学报,2000,55(1):15-22.
- [15] 陈华丽,陈刚,丁国平.基于 GIS 的区域洪水灾害风险评价[J].人民长江,2003,34(6):49-51.
- [16] 国家气候中心台风灾害风险评估与区划技术组.2010 年台风风险区划技术规范[R].北京:内部参考资料,2010.
- [17] 石怡,许有鹏,蔡娟.城市化对秦淮河中下游洪涝灾害风险的影响分析[J].水土保持研究,2011,18(5):26-31.
- [18] 丁军,朱静,王磊,等.5·12 汶川地震灾区茂县地质灾害危险性评价[J].水土保持研究,2010,17(5):12-16.
- [19] 贺宇,丁国栋,臧荫桐,等.燕山山地典型森林枯落物持水特性[J].四川农业大学学报,2012,30(2):161-166.
- [20] 韩春华,赵雨森,辛颖,等.阿什河上游小流域主要林分枯落物层的持水特性[J].林业科学研究,2012,25(2):212-217.
- [21] 田超,杨新兵,李军,等.冀北山地阴地枯落物层和土壤层水文效应研究[J].水土保持学报,2011,25(2):97-103.
- [22] 赵陟峰,郭建斌,赵廷宁,等.土桥沟流域不同林分枯落物的水文特性[J].西北林学院学报,2008,23(6):14-17.
- [23] 樊登星,余新晓,岳永杰,等.北京西山不同林分枯落物层持水特性研究[J].北京林业大学学报,2008,30(2):177-181.
- [24] 杨吉华,张永涛,李红云,等.不同林分枯落物的持水性能及对表层土壤理化性状的影响[J].水土保持学报,2003,17(2):141-144.
- [25] 韩同吉,裴胜民,张光灿,等.北方石质山区典型林分枯落物层涵蓄水分特征[J].山东农业大学学报:自然科学版,2005,36(2):275-278.
- [26] 王云琦,王玉杰,张洪江,等.重庆缙云山集中典型植被枯落物水文特性研究[J].水土保持学报,2004,18(3):41-44.
- [27] 刘硕.青海省大通县主要造林树种枯落物水文效应研究[J].水土保持研究,2008,15(6):105-107.