

# 基于 DEM 的山区土地利用变化分析

李 丹, 刘丹丹, 赵金祥

(黑龙江工程学院, 哈尔滨 150050)

**摘 要:**地形因子直接影响土地利用方式并在一定程度上决定着土地利用类型。以西南地区典型山区重庆市忠县为研究区,基于 DEM 和遥感影像,通过遥感解译建立土地利用数据库,运用 GIS 技术提取高程、坡度、坡向,并与土地利用图进行叠加,分析研究区 2000—2010 年间基于不同地形因子的土地利用变化情况。研究结果表明:地形因子对研究区土地利用变化有着重要的影响,土地利用变化随着高程的增加、坡度的增大而减缓,阳坡大于阴坡,并主要集中在高程为 300~600 m,坡度 $<25^\circ$ 的半阳坡地区,其中以耕地与林地之间的转化最为剧烈;在海拔为 0~300 m,坡度 $<25^\circ$ 的长江及其支流沿岸地区有一定面积的耕地和林地转化为水域。通过对土地利用变化与各地形因子之间关系的分析,有助于实现区域土地利用结构的优化和不同地形上土地利用类型的合理布局,促进区域土地资源的可持续发展。

**关键词:**土地利用;地形因子;DEM;忠县

**中图分类号:**F311

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)01-0066-05

## Analysis of Land Use Change in Mountain Area Based on DEM

LI Dan, LIU Dan-dan, ZHAO Jin-xiang

(Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China)

**Abstract:** Terrain factor affects land use manner directly and determines the land use type to a certain extent. Taking Zhongxian county of Chongqing a typical mountainous area in southwest as study area. Based on the DEM and remote sensing images, through the establishment of land use remote sensing database, using GIS technology, elevation, slope, aspect was extracted, and made them overlay to land use map to analyze land use change based on different terrain factors from 2000 to 2010 in the study area. The research results show that the terrain factors have the important influence on land use change in the study area, land use change decreases slowly with the increase of elevation and slope, sunny slope is greater than the shady slope, and mainly concentrated in the region that the elevation is 300~600 m, slope is less than  $25^\circ$  and the aspect is half-sunny slope, and the transformation between cultivated land and forest land is the most violent one. There are certain areas of cultivated land and forest land were converted to water in elevation 0~300 m, less than  $25^\circ$  along the Yangtze River and its tributaries. The analysis of relation between land use change and each terrain factors will have benefit to realize the optimization structure of regional land use and the rational distribution of land use types on different terrain, to promote the sustainable development of regional land resources.

**Key words:** land use; terrain factor; DEM; Zhongxian County

地形地貌是影响局部地区土地利用变化最直接、最关键的因素,也是众多自然因素中对土地利用影响程度最大的因素之一,直接影响着土地的利用方式,在一定程度上决定着土地的利用类型<sup>[1-7]</sup>。数字高程模型(DEM)作为研究空间变化的基础数据,蕴含着大量的地形结构和特征信息<sup>[8]</sup>。通过 DEM 可以快

速高效地提取高质量的高程、坡度和坡向等各种地形因子信息,进而为定量研究地形因子对土地利用变化的影响提供依据<sup>[9-11]</sup>。利用 DEM 数据对土地利用变化进行研究,可以确定不同地形因子对土地利用变化的影响,对合理进行土地资源优化配置具有指导意义<sup>[12]</sup>。本文以典型山区重庆市忠县为研究区,基于

收稿日期:2013-06-15

修回日期:2013-07-15

资助项目:黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12531567);黑龙江省自然科学基金(E201203);黑龙江工程学院青年科学基金项目(2013QJ04)

作者简介:李丹(1982—),女,黑龙江省绥化人,博士生,讲师,主要研究方向为农业遥感与土地利用。E-mail:lidan0220@126.com

DEM 数据,综合运用地理信息系统和遥感技术,提取影响土地利用变化的各种地学信息,分析土地利用变化与高程、坡度和坡向之间的关系。以实现研究区土地利用结构的优化和不同地形上土地利用类型的合理布局,促进区域土地利用的可持续发展,同时为合理利用土地资源、协调社会经济发展以及调控和管理土地利用提供参考。

1 研究区概况

忠县位于重庆市中部、三峡库区腹心地带,其地理坐标为东经 107° 32′—108° 14′,北纬 30° 03′—30° 53′,东西长 66.45 km,南北宽 60.15 km,幅员面积 2 187.08 km<sup>2</sup>,是三峡移民搬迁重点县。忠县居三峡水库中段,长江自西南向东北横穿其中,地处暖湿亚热带东南季风区,属亚热带东南季风区山地气候。境内低山起伏,溪河纵横交错,其地貌由金华山、方斗山、猫耳山三个背脊和其间的拔山、忠州两个向斜构成,最高海拔 1 680 m,最低海拔 117 m,属典型的丘陵地貌。忠县现辖 22 个镇,6 个乡,2010 年全县总人口 101.18 万人。忠县地区地形起伏较大,土地利用/覆盖类型多样复杂,土地利用方式以耕地和林地为主,分别占 37.74%和 22.84%,其分布与“三山夹两槽”的地势相对应,耕地多分布在槽谷地势较平坦地区,林地主要分布在三条山脉<sup>[13]</sup>。近些年来受经济发展以及三峡库区蓄水的影响,忠县土地利用发生了一定的变化。

2 数据处理与方法

2.1 数据来源

本文采用的遥感数据主要为研究区 2000 年和 2010 年美国陆地卫星 Landsat-5 所获取的多波段 TM 影像,该影像有 7 个波段,影像空间分辨率除第六波段(热红外波段)为 120 m 外,其余均为 30 m,本文采用 1,2,3,4,5,7 波段,进行遥感影像解译;DEM 数据为覆盖研究区全区的(带号为 48N)90 m 空间分辨率数据,数据格式为 GRID;行政边界矢量数据的获取是在 ArcGIS 平台上以配准后的地图为底图,运用 Editor 中的 create new feature 工具在新建的矢量图层上跟踪研究区行政边界,获得研究区的面状矢量图;用于几何校正的有研究区 1:5 万地形图以及其他辅助图件和相应的野外调查资料。

2.2 处理方法

2.2.1 遥感影像预处理及影像解译 在统一坐标系的前提下,以研究区 1:5 万地形图为基础对两期遥感影像进行几何校正(平均误差小于 0.5 个像元),利

用主成分分析法对影像进行增强处理,通过裁剪得到符合要求的研究区遥感影像数据。参照《土地利用现状分类(G/T21010-2007)》,并结合研究区实际和研究需要以及遥感数据特点,采用最大似然分类法将研究区土地利用方式划分为耕地、林地、草地、建设用地和水域五类。对于道路、沟渠、林带等线状地物和其它特殊用地等比例很小的地物,因影像分辨率和技术处理原因无法单独分类,故分别划入到上述类型之中。利用 ArcGIS 对上述解译后的数据建立空间拓扑关系,生成忠县土地利用的图形数据库和相应的属性数据库。

2.2.2 基于 DEM 的高程、坡度和坡向分级 利用 DEM 数据,采用 ArcGIS 中的 Spatial Analyst 模块下的表面分析分别提取高程、坡度和坡向信息。高程是影响土地利用方式的重要环境因子,随着高程的增加,大气湿度、温度都会发生明显的变化,导致土地の利用方式随高程的变化发生一定的变化。通过忠县 DEM 数据分析得知,全县的高程范围为 117~1 680 m。坡度对土地利用有着重要的影响:小于 6°的坡地,可以作为农用旱地或牧草地;大于 6°的坡地,易产生强烈的侵蚀,需修筑梯田或采用水保耕作法等水保措施;25°是退耕还林还牧界限;沟坡地的地面坡度大部分在 35°以上,该类土地应以种草造林为主要利用方式,以保护边坡的稳定性,防止崩塌、错落等重力侵蚀发生;45°是植树造林的上限<sup>[8]</sup>。坡向表征了地面任何一点高程值改变量的最大变化方向。

为了便于对研究区在不同地形因子上的土地利用变化进行分析,本文根据 2004 年《土地利用更新调查技术规定》(试行),结合相关研究成果<sup>[3,9,11]</sup>及本研究区实际,将高程按照 300 m 等间隔划分为 4 个级别(表 1);坡度分为平地、缓地、斜坡、缓斜坡和陡坡五类(表 2);对于坡向以正北方向为 0°,按顺时针方向计算,取值范围为 0°~360°,分为平缓坡、阳坡、半阳坡和阴坡四级(表 3)。各地形因子分级图见附图 1。

表 1 研究区高程分级					m
级别	第一级	第二级	第三级	第四级	
高程范围	0~300	300~600	600~900	≥900	

表 2 研究区坡度分级					(°)
级别	平地	缓地	斜坡	缓斜坡	陡坡
坡度范围	0~6	6~15	15~25	25~35	35~90

表 3 研究区坡向分级					(°)
级别	平缓坡	阳坡	半阳坡	阴坡	
坡向范围	0	135~225	45~135	0~45	
			225~315	315~360	

2.3 土地利用变化

2.3.1 土地利用变化动态度 土地利用变化动态度

可定量描述区域土地利用变化的速度,反映土地类型在一定时段的变化程度和趋势,对比较土地利用变化的差异有积极作用<sup>[14-15]</sup>。其表达式为:

$$R=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\%$$

(1)

式中: $R$ ——研究时段内某一土地利用类型的变化率; $U_a,U_b$ ——研究期初及研究期末某一种土地利用类型的数量; $T$ ——研究时段长。当  $T$  设定为年时, $R$  为研究区时段内某一种土地利用类型的年变化率。

2.3.2 土地利用变化转移矩阵 引入土地利用变化转移矩阵来分析土地利用类型间的相互转换情况<sup>[16]</sup>,进而分析土地利用变化的内在过程和趋势。

$$S_{ij}=\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nm} \end{bmatrix}$$

(2)

式中: $S_{ij}$ ——土地面积; $n$ ——土地利用的类型数; $i,j$ ——研究期初与研究期末的土地利用类型序号。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用变化总体分析

根据上述公式,利用 ArcGIS 软件计算出研究区

表 4 2000—2010 年间研究区土地利用变化情况

土地利用类型	2000 年面积/hm <sup>2</sup>	2010 年面积/hm <sup>2</sup>	变化量/hm <sup>2</sup>	年变化率/%	变化比例/%
耕地	122871.257	114452.269	−8418.988	−0.69	48.75
林地	87399.973	92979.729	5579.756	0.64	32.31
草地	334.073	117.468	−216.605	−6.48	1.25
建设用地	1946.384	3156.572	1210.188	6.22	7.01
水域	7866.152	9711.801	1845.649	2.35	10.69

表 5 2000—2010 年间研究区土地

利用变化转移矩阵

hm<sup>2</sup>

2000 年	2010 年				
	耕地	林地	草地	建设用地	水域
耕地	—	6218.740	117.468	1142.212	991.644
林地	1.798	—	0	73.470	826.598
草地	0.270	260.488	—	0	73.585
建设用地	7.799	2.033	0	—	3.371
水域	49.009	0.360	0	0.180	—

#### 3.2 基于高程分级的土地利用变化分析

利用 ArcGIS 叠加分析功能将高程与土地利用变化进行叠加分析得到研究区 2000—2010 年间基于高程分级的土地利用变化情况(表 6,附图 2),2000—2010 年间忠县土地利用变化量最大的高程级别为 300~600 m,其次为 0~300 m,这两个高程级别范围内土地利用变化最显著的特点是耕地与其它土地利用类型之间的转化,0~300 m 高程级别范围内土地

2000—2010 年间土地利用变化率及土地利用转移矩阵(表 4—5)。由表 4—5 可知,2000—2010 年间,忠县土地利用变化整体以耕地、林地和水域为主,变化比例分别为 48.75%,32.31%和 10.69%。土地利用面积减少的主要土地利用类型为耕地和草地,林地、建设用地和水域面积增加;面积减少幅度最大的为耕地,增加幅度最大的为林地,年变化率较大的为草地和建设用地。减少的耕地主要转向林地、建设用地和水域,耕地转为林地主要发生在西部地区,耕地转向建设用地主要发生在城镇及主要公路附近,耕地转化为水域主要发生在长江及支流两边,可见耕地减少主要受到生态退耕、建设占用以及三峡工程蓄水的影响;草地的面积略有减少,但减少量不明显,主要转变为林地和水域;林地的增加主要来自耕地和草地,进一步说明了国家退耕还林工程的实施在忠县地区取得了一定的成效;建设用地的增加主要来自耕地,在县城周边有明显的耕地向建设用地转化,主要原因是近些年重庆市经济发展迅速,带动了忠县的经济发

展,使忠县的城镇化速度明显加快,表现为建设用地面积的持续增加;水域的增加比较集中,主要来自长江周边地区的耕地和林地,直接表明了三峡大坝蓄水对土地利用的影响。

利用变化最显著的是耕地转化为林地、建设用地和水域,且耕地的转出面积远远大于转入面积,耕地面积明显减少,而 300~600 m 高程范围内共有 4 372.73 hm<sup>2</sup> 的耕地转化为林地,约占这一级别土地利用总变化量的 80%,这一区间是耕地与林地转化的主要地域。在 600~900 m 和 >900 m 这两个级别,土地利用变化量较小,在 >900 m 级别仅有极少量的耕地转化为林地,说明高程因子对土地利用变化的影响较大,随着高程的增加,土地利用类型之间的转化减少。

#### 3.3 基于坡度分级的土地利用变化分析

研究区 2000—2010 年间基于坡度分级的土地利用变化情况(表 7,附图 2)表明:2000—2010 年忠县土地利用变化量以缓地最大,变化量为 4 448.95 hm<sup>2</sup>,平地 and 斜坡变化量相近,分别为 2 672.25 hm<sup>2</sup> 和 2 163.05 hm<sup>2</sup>,缓斜坡和陡坡变化量较小。发生在平地和缓地的主要土地利用变化为耕地转向林地,其次为耕地向建设用地、水域以及林地向水域的转化。耕

地向林地的转化在各个级别均有发生,以缓地变化量最大。除平地 and 缓地外,土地利用变化随坡度的增加呈减少趋势。

3.4 基于坡向分级的土地利用分析

基于坡向分级的土地利用变化统计(表 8,附图 2)表明,2000—2010 年忠县土地利用类型变化量随着坡向的变化而变化。土地利用变化主要集中在半阳坡上,变化面积为 5 276.72 hm<sup>2</sup>,阳坡和阴坡变化面积次之,分别为 2 667.63 hm<sup>2</sup> 和 1 788.94 hm<sup>2</sup>。平缓坡上的土地变化最小。平缓坡主要以林地向建设用地转换为主,阳坡比阴坡更容易发生耕地向林地转化,耕地向建设用地、耕地向水域、以及林地向水域的转化量在阴阳坡的分布相对均匀,转化量很小的草地向林地的转化基本分布在阳坡和半阳坡。

表 6 研究区基于高程分级的土地利用变化 hm <sup>2</sup>				
土地利用变化	0~ 300 m	300~ 600 m	600~ 900 m	>900 m
林地—耕地	0.09	1.71	—	—
建设用地—耕地	0.27	—	—	—
水域—耕地	—	49.01	—	—
耕地—林地	1272.58	4372.73	556.70	13.39
草地—林地	11.72	236.53	12.24	—
建设用地—林地	1.59	0.36	0.09	—
水域—林地	0.09	0.27	—	—
耕地—草地	15.22	96.86	4.96	—
耕地—建设用地	522.40	607.83	11.79	—
林地—建设用地	15.57	57.91	—	—
水域—建设用地	0.18	—	—	—
耕地—水域	977.93	13.75	—	—
林地—水域	826.54	—	—	—
草地—水域	73.58	—	—	—
建设用地—水域	3.37	—	—	—
总 和	3721.13	5436.96	585.78	13.39

表 7 研究区基于坡度分级的土地利用变化 hm <sup>2</sup>					
土地利用变化	平地	缓地	斜坡	缓斜坡	陡坡
林地—耕地	1.35	0.36	0.04	0.05	—
建设用地—耕地	—	0.16	0.11	—	—
水域—耕地	39.93	8.84	0.24	—	—
耕地—林地	1411.98	2837.09	1618.62	304.55	40.71
草地—林地	35.68	92.93	65.32	58.52	8.03
建设用地—林地	0.58	1.27	0.18	—	—
水域—林地	0.18	0.09	0.09	—	—
耕地—草地	46.29	46.24	19.84	3.74	1.15
耕地—建设用地	584.05	487.09	69.13	1.93	—
林地—建设用地	31.72	26.14	13.58	2.03	—
水域—建设用地	0.09	0.09	—	—	—
耕地—水域	213.81	538.37	215.77	21.74	1.83
林地—水域	297.86	367.53	139.00	20.96	—
草地—水域	8.18	40.63	20.43	4.22	—
建设用地—水域	0.55	2.12	0.70	—	—
总 和	2672.25	4448.95	2163.05	417.74	51.72

表 8 研究区基于坡向分级的土地利用变化 hm <sup>2</sup>				
土地利用变化	平缓坡	阳坡	半阳坡	阴坡
林地—耕地	—	0.72	1.00	0.08
建设用地—耕地	—	0.27	—	—
水域—耕地	—	17.38	24.22	7.42
耕地—林地	11.76	1649.88	3561.15	990.58
草地—林地	—	108.19	113.44	38.86
建设用地—林地	—	0.45	0.93	0.64
水域—林地	—	0.07	0.27	0.01
耕地—草地	—	39.16	55.12	22.43
耕地—建设用地	2.82	288.29	561.55	289.47
林地—建设用地	384.31	29.53	30.28	13.62
水域—建设用地	—	0.09	—	0.09
耕地—水域	2.75	300.47	459.62	228.65
林地—水域	2.35	219.57	438.66	164.96
草地—水域	0.60	12.38	29.25	31.24
建设用地—水域	0.08	1.18	1.23	0.89
总 和	404.67	2667.63	5276.72	1788.94

根据上述土地利用变化特征可以看出,高程、坡度、坡向在很大程度上影响着忠县的土地利用变化,2000—2010 年间忠县土地利用变化总体上以耕地、

林地和水域变化为主,以耕地向林地的转化为显著特点,并主要集中在高程 0~600 m、坡度<25°的半阳坡地区;水域的增加主要来自耕地和林地,并集中在海拔 0~300 m、坡度<25°的长江及支流沿岸;土地利用变化随着高程的增加、坡度的增大而减缓,阳坡的土地变化比阴坡大;阳坡耕地转化为林地的变化面积比阴坡多,阴坡耕地转化为建设用地的变化面积比阳坡多。在空间分布上,土地利用类型之间的转换主要集中在研究区西北部、县城及主要公路附近、长江及支流两边,说明地形因子、经济发展及三峡大坝蓄水是该区土地利用变化的主要影响因子。

4 结 论

本文在 DEM 的基础上,以遥感和地理信息系统为手段,分析了 2000—2010 年重庆市忠县土地利用在高程、坡度和坡向三方面的变化情况,得出的主要结论如下:

(1) 地形因子(高程、坡度、坡向)作为重要的自然因素,对区域土地利用变化具有重要的影响,高程、坡度、坡向的等级不同,土地利用变化程度不同,土地利用类型之间的转换不同。地形因子对土地利用变化的影响符合当地的自然规律和社会经济规律。

(2) 该时期本区域地形因子对土地利用变化的影响规律为土地利用变化随着高程的增加、坡度的增大而减缓,阳坡大于阴坡,并主要集中在高程 300~600 m,坡度 $<25^\circ$ 的半阳坡地;土地利用类型之间的转化以耕地与林地在地地上(海拔 300~600 m)的转化最为剧烈,在 0~300 m 则表现为城乡建设、交通建设占用耕地的现象。

(3) 本文根据遥感和 DEM 数据,分析了土地利用变化与地形因子之间的关系,可以为土地利用结构的优化提供一定的科学依据,但本文未对各地形因子对土地利用变化的影响程度以及因子之间的相互关系进行探讨,进一步研究各地形因子与土地利用变化之间的定量关系将是下一步研究的方向。

#### 参考文献:

- [1] 乔青,高吉喜,王维.川滇农牧交错区地形特征对土地利用空间格局的影响[J].长江流域资源与环境,2009,18(9):812-818.
- [2] 葛翠萍,赵军,尹升,等.典型黑土区地形因子对土地利用变化的影响[J].农业系统科学与综合研究,2009,25(1):69-73.
- [3] 刘德林,李壁成.黄土高原上黄小流域土地利用类型的坡度分析[J].水土保持研究,2010,17(5):199-201.
- [4] 崔卫国,文倩,刘艳艳,等.基于 DEM 的醴陵市土地利用

(上接第 65 页)

#### 参考文献:

- [1] 蒋协新,秦富,利明,等.英国农业支出政策及其经验(上)[J].世界农业,2002,282(10):13-15.
- [2] 张代钧,许丹宇,任宏洋,等.长江三峡水库水污染控制若干问题[J].长江流域资源与环境,2005,14(5):605-610.
- [3] 孟春红,赵冰.三峡水库蓄水后的富营养养分化趋势分析[J].农业环境科学学报,2007,26(3):863-867.
- [4] 曹彦龙,李崇明,阚平.重庆三峡库区面源污染评价与聚类分析[J].农业环境科学学报,2007,26(3):857-862.
- [5] 李崇明,黄真理,张晟,等.三峡水库藻类“水华”预测[J].长江流域资源与环境,2007,16(1):1-6.
- [6] 孟庆华,杨林章.三峡库区不同土地利用方式的养分流失研究[J].生态学报,2000,20(6):1028-1033.
- [7] 曾繁富,张军,赵同谦,等.嵩坪河小流域降雨径流特征研究[J].水土保持学报,2010,24(2):40-43.
- [8] 黄茹,黄林,何丙辉,等.三峡库区坡地林草植被阻止降雨径流侵蚀[J].农业工程学报,2012,28(9):70-75.
- [9] 王万忠.黄土高原降雨特性与土壤流失关系的研究:关

空间格局分析[J].资源科学,2008,30(2):228-234.

- [5] 黄海洋,杨庆媛,王成.基于 DEM 的土地利用类型与地形因子关系研究:以重庆市酉阳县麻旺镇为例[J].西南大学学报:自然科学版,2009,31(4):159-164.
- [6] 刘艳艳,吴大放,董玉祥,等.珠海市土地利用空间格局与地形的相关性研究[J].地理与地理信息科学,2010,26(3):68-72.
- [7] 胡光印,董治宝,王文丽,等.近 30 a 玛曲县土地利用/覆盖变化监测[J].中国沙漠,2009,29(3):457-462.
- [8] 赵玲,吴良林,莫建飞.基于 DEM 的桂西北土地利用与地形关系特征分析[J].地理空间信息,2011,9(1):103-105.
- [9] 黎景良,后斌,危双峰,等.基于 DEM 的广东省山区土地利用变化分析[J].测绘通报,2007(6):53-57.
- [10] 张少伟,杨勤科,任宗萍,等.江西省赣南地区土地利用动态分析[J].水土保持研究,2011,18(2):53-65.
- [11] 孟晓云,于兴修,刘前进.基于 RS&GIS 的临沂市北部山区土地利用变化研究[J].临沂师范学院学报,2008,30(3):97-101.
- [12] 郑瑜.基于 DEM 和交通条件的土地利用时空变化分析[D].长沙:中南林业科技大学,2001.
- [13] 唐娜,廖和平,杜军,等.土地利用总体规划环境影响评价研究:以重庆市忠县为例[J].中国农学通报,2011,27(3):417-420.
- [14] 张静,马彩虹,王启名,等.汉中市土地利用变化的动态变化研究[J].水土保持研究,2012,19(1):112-116.
- [15] 马松增,史明昌,杨贵森,等.基于 GIS 的土地利用时空动态变化分析:以塔里木盆地农垦区为例[J].水土保持研究,2013,20(1):177-181.
- [16] 李鹏杰,何政伟,李璇琼.基于 RS 和 GIS 的土地利用/覆被动态变化监测:以九龙县为例[J].水土保持研究,2012,19(2):38-42.

于侵蚀性降雨的标准问题[J].水土保持通报,1984,4(4):58-63.

- [10] 侯喜禄,曹清玉.陕北黄土丘陵沟壑区植被减沙效益研究[J].水土保持通报,1990,10(4):33-40.
- [11] 彭文英,张科利.不同土地利用产流产沙与降雨特征的关系[J].水土保持通报,2001,21(4):25-29.
- [12] 王海斌.不同水土保持措施下径流小区降雨与产流产沙关系研究[J].水土保持研究,2011,18(5):63-66.
- [13] 唐佐忠,王建文,王克勤.不同施肥水平下植草对坡地径流氮素流失的调控作用[J].水土保持学报,2012,26(1):12-16.
- [14] 宋玥,张忠学.不同耕作措施对黑土坡耕地土壤侵蚀的影响[J].水土保持研究,2011,18(2):14-18.
- [15] 贾莲莲,李占斌,李鹏,等.黄土区野外模拟降雨条件下坡面径流—产沙实验研究[J].水土保持研究,2010,17(1):1-4.
- [16] 王晓东,张洪江,程金花,等.三峡库区森林植被坡面产流特性[J].水土保持研究,2008,15(1):1-3.
- [17] 李朝霞.降雨过程中红壤表土结构变化与侵蚀特点[D].武汉:华中农业大学,2004.