

基于均匀抽样调查的半干旱黄土区土壤侵蚀动态研究

赵维军¹, 刘宪春², 张岩¹, 朱清科¹, 姚文俊¹

(1. 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室(北京林业大学), 北京 100083; 2. 水利部水土保持监测中心, 北京 100053)

摘要: 为评估近年来植被恢复对土壤侵蚀强度动态变化的影响,按照 1% 的均匀抽样比例分别于 2009 和 2011 年调查了陕北吴起县 39 个小流域的土壤侵蚀影响因子,结合 2009 年 SPOT 多光谱影像遥感解译的土地利用结果,分析了抽样方法的精度和吴起县土壤侵蚀动态变化及其影响因素。结果表明:(1) 1% 的抽样比例能够很好地代表吴起县整体土壤侵蚀状况;(2) 2009—2011 年吴起县微度侵蚀等级面积比例显著增加,中度、强烈、极强烈和剧烈侵蚀等级比例均有不同程度的减少,强烈侵蚀和剧烈侵蚀的面积比例都减少了 5% 以上,但不同小流域的土壤侵蚀变化差异较大;(3) 土壤侵蚀变化的原因主要是 2011 年降雨侵蚀力低于 2009 年;与 2009 年相比,2011 年灌木林面积减少,而草地和林地面积增加,但各种类型植被的覆盖度都有增加,因此,植被因子明显减小。其他因子变化不大。

关键词: 土壤侵蚀; 吴起县; 均匀抽样

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0125-06

中图分类号: S157.1

An Analysis on Dynamic Changes of Soil Erosion in Semiarid Loess Area Based on Uniform Sampling

ZHAO Wei-jun¹, LIU Xian-chun², ZHANG Yan¹, ZHU Qing-ke¹, YAO Wen-jun¹

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification

Combat, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Soil Conservation Monitoring Center, Ministry of Water Resources, Beijing, 100053, China)

Abstract: The aim of this study is to assess the effect of vegetation restoration on soil erosion dynamic changes in recent years. Based on the uniform sampling(1%), the impact factors of soil erosion were surveyed in 39 watersheds in Wuqi County, Northern Shaanxi Province in 2009 and 2011 respectively. With the comparison of land use interpreting result from 2009 SPOT multi-spectral image, the accuracy of the sampling method, soil erosion dynamic changes and the impact factors were analyzed in Wuqi County. The results showed that: (1) The 1% uniform sampling ratio could well represent current situation of soil erosion in Wuqi County. (2) From 2009 to 2011, the area of slight erosion increased significantly, while the proportion of moderate, intensive, extreme intensive and severe erosion has reduced in varying degrees. All the areas of intense erosion, extreme intensive and severe erosion decreased by more than 5%, while the erosion intensity varied significantly within the single watershed. (3) The main reason that causes soil erosion changes was the rainfall erosivity, which was smaller in 2011 than in 2009. Compare to 2009, although the area of shrub land decreased, the area of grassland and all the other types of vegetation cover increased in 2011. Due to this, the soil conservation biological factor decreased, and the changes of other factors were small.

Keywords: soil erosion; Wuqi County; uniform sampling

土壤侵蚀是土地退化的重要形式,可引起各种生态环境问题,直接影响经济社会发展。因此,及时有效地进行土壤侵蚀动态监测与评价显得尤为迫切。

我国土壤侵蚀动态研究一般采用 RS 和 GIS 技术^[1-2],按照《土壤侵蚀分类分级标准(SL190—2007)》分析土壤侵蚀强度的动态变化^[2-9]。但这种方

收稿日期:2012-04-26

修回日期:2012-09-19

资助项目:北京林业大学优秀青年教师科技支撑专项计划“气候变化对黄土高原土壤侵蚀过程的影响”(YX2010-20),“十二五”国家科技计划课题“陕北黄土丘陵沟壑区保水固土水土保持植被研究与示范”(2011BAD38B0601);水利部、财政部,全国水土流失动态监测与公告(1260916100)

作者简介:赵维军(1985—),男(汉族),安徽省砀山县人,博士研究生,研究方向为森林生态恢复。E-mail:zwj_0920@126.com。

通信作者:张岩(1970—),女(汉族),辽宁省海城市人,副教授,博士,硕士生导师,研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail:zhangyan9@bjfu.edu.cn。

法往往只注重于分析土地利用的变化^[5-6,10-15]、植被覆盖度^[10,12,14-15]和坡度^[6,10,12]等因子对土壤侵蚀的影响,虽能够反映部分土壤侵蚀影响因子的动态变化,但只能对土壤侵蚀强度进行定性评价,无法定量估计土壤侵蚀量的变化。还有一些研究基于中低分辨率的遥感数据,使用 GIS 与通用土壤侵蚀方程(USLE)或修正的通用土壤侵蚀方程(RUSLE)相结合分析了贵州、辽宁、内蒙古、甘肃和陕北等地区的土壤侵蚀动态变化^[1,6,16-19],但中低分辨率遥感数据不能准确反映土地利用和植被覆盖动态变化,更无法反映水土保持措施因子的具体变化。实地调查能够在一定程度上弥补这些不足,但工作量巨大,基于适当比例的抽样调查方法^[20]可以在极大减少工作量的同时保证调查精度。

陕北半干旱黄土区是我国土壤侵蚀最严重的地区之一。目前还没有关于采用均匀抽样调查与中国土壤侵蚀模型(CSLE)^[21]结合的方法监测该区域近年来土壤侵蚀动态变化的研究报道。本研究以“第一次全国水利普查”的先期试点陕北吴起县为研究区,依据“第一次全国水利普查”提出的均匀抽样调查方法与中国土壤侵蚀模型(CSLE)^[21]相结合的方法^[22],分析吴起县 2009—2011 年土壤侵蚀影响因子和土壤侵蚀量的动态变化,研究结果可以为陕北吴起县生态修复的水土保持效果评估以及治理方向和途径提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

吴起县位于陕西省延安地区西北部(107°38′57″—108°32′49″E, 36°33′33″—37°24′27″N),总面积 3 791.5 km²,海拔 1 233~1 809 m,属黄河支流北洛河和无定河上游,黄土高原丘陵沟壑区腹地。吴起县具有明显的温带大陆性季风气候特征,该县多年平均降雨量 478.3 mm。县内主要有洛河,无定河两大水系,集水面积在 1 km² 以上的河流、沟溪 636 条,河网密度为 0.86 km/km²。

1.2 材料与方法

(1) 系统抽样方法。在 2009 和 2011 年的抽样调查中,依据《全国水土流失动态监测与公告项目实施技术方案》在吴起县县域总面积 3 792 km² 范围内,以 10 km 为边长,把全县划分正方形网格,每个正方形中心抽取一个抽样单元,主要为 1 km² 左右的小流域,共计 39 个抽样单元,总面积 42.1 km²,抽样比例 1.1%。抽样单元面积最小 0.81 km²,最大 1.88 km²,平均 1.08 km²。

(2) 水土流失状况调查与 DEM 获取。2009 年 7 月和 2011 年 7 月均以地块为单位对吴起县开展抽样小流域野外调查,调查内容包括 39 个抽样单元的土地利用、植被类型和覆盖度、土壤可蚀性、水土保持措施数量和质量等。同时,基于 1:10 000 矢量化的吴起县地形图,利用 ArcGIS 9.3 软件生成了分辨率为 5 m×5 m 的 DEM。

(3) 土壤侵蚀模数计算方法。采用中国土壤侵蚀模型(CSLE)估计土壤侵蚀模数。它是在土壤侵蚀通用流失方程式 USLE(universal soil loss equation)基础上,根据中国水土流失情况和防治措施进行改进而建立,具体模型为:

$$A=100R \cdot K \cdot LS \cdot B \cdot E \cdot T$$

式中: A ——单位面积上时间和空间平均的土壤流失量 (t/(km²·a)); R ——降雨侵蚀力因子 (MJ·mm/(hm²·h·a))。根据章文波^[23]提出的使用月雨量计算降雨侵蚀力的方法,使用吴起县气象站 2009 和 2011 年逐月雨量资料计算得出 2009 和 2011 年降雨侵蚀力; K ——土壤可蚀性因子 (t·hm²·h/(hm²·MJ·mm))。使用沉降法测试了小流域调查中获得 102 个土地利用斑块样本的土壤有机质含量和机械组成,进而采用张科利提出的修正方法^[24]计算土壤可蚀性因子 K 值; LS ——坡度坡长因子(无量纲)。利用 ArcGIS 9.3 软件,在 1:10 000 矢量化地形图的基础上建立分辨率为 5 m×5 m 的 DEM,再使用 ArcGIS 9.3 软件的空间分析功能由可提取理想坡面坡度结果的 DEM^[25]和 Liu 等^[26]提出的适合于黄土高原的坡度坡长因子计算公式获得坡度坡长因子值^[27]; B, E, T ——生物措施因子(无量纲)、工程措施措施因子(无量纲)和耕作措施因子(无量纲)。根据实地调查获得各土地利用斑块的植被类型、覆盖度、耕作措施和工程措施的类型,再根据美国通用土壤流失方程式提供的参数^[28]确定以上生物措施因子 B 值^[27]。然后根据陕西、山西等地的径流小区试验数据计算了 3 种工程措施因子 E 值^[27]。

最后分别生成降雨侵蚀力 R 图层、土壤可蚀性 K 图层、坡长因子 L 、坡度因子 S 图层、生物措施 B 因子和工程措施 E 图层,各图层的分辨率均为 10 m,再把各图层像元值相乘即可得到单元格土壤侵蚀模数。建立以地块为单元的小流域坡面土壤侵蚀数据库,估算县域土壤侵蚀强度变化。

(4) 土壤侵蚀强度分级。为了便于比较,使用中国土壤侵蚀模型(CSLE)计算的吴起县 2009 和 2011 年土壤侵蚀模数依据《土壤侵蚀分类分级标准 SL190—2007》,结合研究区的平均侵蚀模数,将吴起

县土壤侵蚀强度分为微度 ($<1\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$), 轻度 ($1\ 000 \sim 2\ 500\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$), 中度 ($2\ 500 \sim 5\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$), 强烈 ($5\ 000 \sim 8\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$), 极强烈 ($8\ 000 \sim 15\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$) 和剧烈 ($>15\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)。

1.3 均匀抽样提取坡度的精度

使用 1:10 000 矢量化地形图生成 DEM(5 m \times 5 m), 利用 ArcGIS 9.3 软件的空间分析功能提取吴起县的坡度分级统计图, 再按照 1% 比例提取其坡度分布图。基于 1:10 000 地形图提取的坡度可以看出只有吴起县东北部坡度比较平缓, 其他地区地形起伏相差不大。统计表明该县坡度小于 15° 的面积比例为 16.0%。 $15^\circ \sim 25^\circ$ 的面积比例合计达 26.0%, $25^\circ \sim 35^\circ$ 的土地面积比例为 34.8%, 大于 35° 的面积比例为 23.2%; 按 1% 比例抽样的 39 个小流域坡度分布与该县坡度分布大体一致(表 1), 其中相差最大的是坡度在 $25^\circ \sim 35^\circ$ 的面积, 抽样流域比该县的比例多出 1.24%, 因此, 1% 的抽样比例能够很好地代表吴起县坡度的频率分布。

表 1 吴起县和抽样小流域坡度统计比较

坡度范围/ ($^\circ$)	占全县比 例/%	占抽样流域 比例/%	差值/%
0~5	4.36	4.50	0.14
5~8	2.28	2.08	-0.20
8~15	9.37	8.85	-0.52
15~25	25.96	25.61	-0.35
25~35	34.84	36.08	1.24
>35	23.20	22.88	-0.32

1.4 不同方法获取土地利用结果比较

使用 ArcGIS 9.3 软件对吴起县 2009 年的 SPOT 5 多光谱影像进行土地利用解译, 并与 2009 年按照 1% 均匀抽样比例调查的土地利用结果进行比较(表 2), 两者的差异主要在草地和林地的面积比例, 而原因主要在遥感影像解译中可能存在误差, 其他土地利用类型, 如耕地、水域等调查结果相近。因此, 1% 的抽样比例能够很好地代表吴起县坡度的频率分布且可以取得可靠的吴起县土地利用调查数据。

表 2 2009 年抽样调查和 SPOT 多光谱影像解译土地利用的结果比较

土地利用类型	耕地/%	草地/%	林地/%	水域/%	城乡居民点和工矿用地/%	裸露地/%
抽样调查	13.79	40.09	44.36	0.13	1.05	0.58
SPOT 解译	12.68	53.29	33.03	0.48	0.53	0

2 结果与分析

2.1 吴起县 2009—2011 年土壤侵蚀强度动态

2.1.1 总体变化 基于中国土壤侵蚀模型(CSLE)计算出的 2009 和 2011 年的最大侵蚀强度分别为 88 285 和 66 563 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ (表 3)。2009 和 2011 年抽样流域平均土壤侵蚀强度分别为 4 723 和 2 447 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 2011 年比 2009 年的平均侵蚀强度减少了 2 276 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 从 2009 年的中度侵蚀降为轻度侵蚀。同时, 与 2009 年相比, 2011 年的微度侵蚀都显著增加, 而中度、强烈、极强烈和剧烈侵蚀等级比例都有不同程度的减少, 强烈侵蚀到剧烈侵蚀的面积比例都减少了 5% 以上, 总面积不到全县面积的 15%。

2.1.2 不同小流域的土壤侵蚀强度变化 2009 和 2011 年, 吴起县土壤侵蚀强度整体降低, 但 39 个抽样小流域各级土壤侵蚀强度的面积比例(表 4)显示出各小流域之间不仅土壤侵蚀强度变化较大, 2009—2011 年土壤侵蚀的变化也不同。例如, 64 号小流域 2009 年微度侵蚀面积占 42.8%, 2011 年则上升至 89.2%; 141 号小流域 2009 年微度侵蚀面积占

31.6%, 2011 年则减少到 11.4%。主要原因均是由于调查单元内其他草地和有林地土地利用类型的面积增大, 灌木林地面积减小。

表 3 基于 CSLE 模型的吴起县 2009 和 2011 年土壤侵蚀强度变化

侵蚀强度/ $(\text{t} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1})$	占全县土地面积比例/%		
	2009 年	2011 年	变化量
微度($<1\ 000$)	22.71	41.59	18.88
轻度($1\ 000 \sim 2\ 500$)	24.81	24.25	-0.56
中度($2\ 500 \sim 5\ 000$)	22.83	21.16	-1.67
强烈($5\ 000 \sim 8\ 000$)	14.06	8.10	-5.95
极强烈($8\ 000 \sim 15\ 000$)	9.76	4.11	-5.65
剧烈($>15\ 000$)	5.84	0.79	-5.05
最大侵蚀模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1})$	88 285	66 563	-21 722
平均侵蚀模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1})$	47 23	2 447	-2 276

2.2 2009—2011 年吴起县土壤侵蚀强度动态变化影响因子分析

根据影响土壤侵蚀的主要因子分析来看, 2011 年较 2009 年土壤侵蚀下降的主要原因是降雨侵蚀力的减少, 水土保持措施因子以及土地利用类型的变化。

表 4 吴起县 2009 和 2011 年各抽样小流域不同土壤侵蚀强度土地面积比例

%

调查 单元	2009 年						2011 年					
	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
2	14.62	29.60	30.55	15.29	5.09	4.85	34.76	31.47	27.40	3.46	0.86	2.05
9	12.15	25.53	26.16	12.98	12.83	10.35	39.90	28.34	22.94	6.78	0.94	1.10
11	8.25	18.99	30.96	26.23	14.70	0.86	32.90	16.82	41.10	8.53	0.64	0.00
13	19.06	29.67	19.21	5.51	6.42	20.13	41.36	37.25	11.78	9.62	0.00	0.00
21	8.57	21.24	26.50	29.83	10.83	3.03	43.97	27.54	25.24	1.03	1.99	0.23
23	42.35	37.39	18.09	1.16	0.67	0.34	39.47	30.44	26.14	0.98	1.28	1.69
25	50.44	24.22	9.18	4.88	8.25	3.02	61.57	21.51	15.46	0.25	0.74	0.48
27	19.73	34.42	39.29	1.98	2.45	2.13	43.58	25.50	27.81	0.71	0.95	1.44
29	16.16	31.61	30.56	17.05	3.96	0.67	24.63	33.06	31.81	8.74	0.86	0.90
42	9.58	17.86	25.46	22.35	21.65	3.09	46.88	23.53	18.00	6.24	4.07	1.29
44	7.14	23.62	28.68	27.16	2.65	10.75	36.90	23.48	31.92	7.69	0.00	0.00
46	14.89	15.41	23.62	31.08	14.07	0.94	56.88	13.17	11.56	12.10	5.03	1.26
48	22.37	29.46	26.66	13.62	5.27	2.63	33.22	39.26	15.62	7.05	0.87	3.97
50	20.10	20.78	22.37	20.01	16.49	0.26	50.91	36.40	12.54	0.15	0.00	0.00
64	42.84	27.19	20.52	2.57	4.26	2.62	89.19	6.75	0.91	0.70	0.68	1.77
66	9.08	22.10	27.05	18.40	15.11	8.26	31.98	27.46	30.40	7.60	1.25	1.32
68	7.23	19.43	27.13	20.93	16.57	8.72	15.41	31.18	35.11	12.68	5.21	0.42
70	13.60	18.79	19.54	22.26	16.23	9.58	24.62	28.87	23.19	16.08	7.25	0.00
72	18.57	29.36	30.03	10.73	6.93	4.38	30.77	27.19	31.57	6.29	3.96	0.22
74	27.74	18.15	19.88	12.51	17.99	3.73	53.32	21.27	20.10	3.64	1.67	0.00
76	20.72	29.07	27.77	20.08	2.11	0.25	77.79	14.72	5.06	2.36	0.07	0.00
93	32.81	25.53	16.66	8.43	14.28	2.29	26.64	31.95	22.61	15.09	3.58	0.13
95	6.72	22.89	26.15	20.87	23.23	0.15	23.92	31.39	42.68	1.10	0.26	0.65
97	25.82	24.46	17.90	18.45	7.98	5.39	23.16	26.24	28.64	20.43	0.97	0.56
99	29.75	32.43	14.33	6.05	8.86	8.58	65.90	20.54	4.25	6.09	3.21	0.00
101	15.29	33.06	36.78	12.64	1.30	0.92	45.35	31.75	19.16	3.43	0.31	0.00
103	11.15	9.83	17.74	11.42	18.45	31.41	42.53	16.31	10.16	9.84	20.99	0.17
105	19.79	22.38	21.84	15.67	19.91	0.42	25.70	24.51	28.91	18.03	1.86	0.98
122	24.70	29.19	20.53	10.72	9.54	5.32	36.44	32.47	22.26	2.67	3.38	2.79
124	17.34	33.58	32.82	11.61	4.40	0.25	20.00	31.87	27.28	13.03	7.82	0.00
126	15.64	20.10	14.51	10.90	11.65	27.19	42.78	20.80	13.38	11.68	11.31	0.05
128	13.85	18.89	20.80	16.85	10.50	19.12	25.55	32.99	15.05	12.47	12.23	1.70
130	8.75	12.95	20.03	21.05	25.11	12.10	27.65	18.52	23.29	18.48	10.84	1.22
138	13.25	16.10	22.81	15.58	22.08	10.18	37.32	32.94	20.52	5.03	4.19	0.00
139	9.07	23.57	29.19	36.74	0.02	1.40	13.08	24.56	35.49	18.93	7.95	0.00
141	31.63	31.75	21.73	5.05	9.84	0.00	11.39	21.16	27.23	21.64	18.58	0.00
143	36.85	34.43	4.70	5.25	5.58	13.19	20.56	13.46	25.42	21.19	19.37	0.00
148	45.01	22.42	17.31	7.20	4.46	3.60	53.62	16.80	13.82	7.58	7.99	0.18
150	46.46	18.92	19.63	12.47	1.66	0.86	66.69	17.28	10.48	4.57	0.99	0.00

注:采用 CSLE 模型计算。

2.2.1 降雨侵蚀力降低 2009 年吴起县气象站记录的降水量为 449.8 mm,接近 1957 年以来的多年平均降水量(463 mm),其中,6—9 月降水量占全年的 72.6%。而 2011 年降水量是 437.0 mm,6—9 月份降水量只占 63.4%,各月降水分布相对比较均匀。因此,根据月雨量计算降雨侵蚀力的方法^[23]得出的 2011 年吴起县降雨侵蚀力为 1 121.0 MJ·mm/(hm²·h·a),低于 2009 年的 1 450.1 MJ·mm/(hm²·h·a)。

2.2.2 水土保持措施因子变化 2011 年林地面积有所增加,灌木覆盖度和林地郁闭度略高于 2009 年,因此,2011 年生物措施因子值低于 2009 年,生物措施因

子值在 0.2 以上的面积明显减少,而取值 0~0.1 的面积显著增加(图 1)。另外,2011 年在调查水土保持措施因子时,分为生物措施、耕作措施和工程措施三类进行统计,比 2009 年更加详细,工程措施面积有所增加(表 5),主要体现在鱼鳞坑整地面积增加约 3%,使得计算土壤侵蚀量时水土保持措施因子取值更小,得到的土壤侵蚀量也就更小。

2.2.3 土地利用类型变化的影响 在 2009 和 2011 年,吴起县各类土地利用总面积变化不大(表 6),其中以灌木林和其他草地为主,两者合计分别占到了吴起县 2009 年全部土地类型的 68.31%和 2011 年全部土

地类型的 69.73%，表现出半干旱灌丛草原的自然地理特征。从 2009—2011 年，变化最大的也正是灌木林地、草地和林地，其中，灌木林地由 30.96% 减少到 20.59%，其他草地由 37.35% 增加至 49.14%，人工牧草地大量减少，其他林地略有减少，有林地则略有增加。其他土地利用类型的总面积则变化很少。

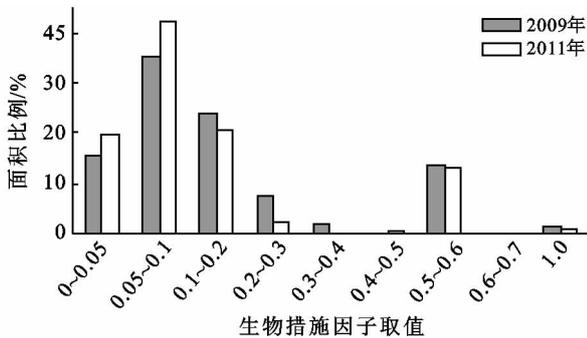


图 1 2009 和 2011 年生物措施因子变化

表 5 吴起县 2009 和 2011 年工程措施因子变化

工程措施类型	工程措施因子	2009 年 比例/%	2011 年 比例/%
水平梯田	0.09	10.06	10.05
鱼鳞坑或坡式梯田	0.219	5.17	12.75
水平条	0.294	5.76	1.39
对照地	1	79.00	75.82

从不同土地利用类型的土壤侵蚀强度来看(表 7),在 2009 和 2011 年,其他土地(裸地)和工矿用地 的土壤侵蚀强度远远大于其他土地利用类型。但 2011

年工矿用地不到全县面积的 1%，裸土只有 0.01%(表 6),对全县平均土壤侵蚀整体影响不大。另外,在计算工矿用地土壤侵蚀模数时,仍然使用工矿建设前的地形图计算坡度和坡长因子,在一定程度上还会导致估计土壤侵蚀模数大于实际土壤侵蚀模数。在半干旱黄土区的吴起县,地带性植被以灌木和草本为主,2011 年的调查结果表明,其他草地面积约占全县面积 50%(表 6)。2011 年其他草地平均土壤侵蚀模数比 2009 年减少了 2 079 t/(km²·a)。主要原因是又经过两年的生态恢复,吴起县草地覆盖度明显增大,土壤侵蚀强度相应减弱。

表 6 吴起县 2009 和 2011 年土地利用类型比较

土地利用	2009 年		2011 年	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
独立工矿用地	16.6	0.63	20.6	0.79
灌木林地	809.7	30.96	540.0	20.59
果园	6.4	0.24	19.7	0.75
旱地	360.5	13.79	339.9	12.96
交通运输用地	1.0	0.04	2.0	0.07
农村居民点	10.0	0.38	9.8	0.38
其他草地	976.6	37.35	1 288.7	49.14
其他林地	136.6	5.22	105.7	4.03
其他土地	15.1	0.58	0.2	0.01
人工牧草地	71.7	2.74	11.3	0.43
水域及水利设施用地	3.5	0.13	3.8	0.15
有林地	207.4	7.93	276.1	10.53
水浇地	0.0	0.00	4.8	0.18
合计	2 614.95	100.00	2 622.60	100.00

表 7 吴起县 2009 和 2011 年各抽样小流域不同土地利用类型各侵蚀强度面积比例

年份	类型	微度/%	轻度/%	中度/%	强烈/%	极强烈/%	剧烈/%	侵蚀模数/(t·km ² ·a ⁻¹)
2009 年	独立工矿用地	2.34	0.77	3.18	6.49	14.60	72.62	16 564.1
	灌木林地	27.47	19.58	47.53	5.35	0.00	0.07	2 498.1
	果园	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	738.7
	旱地	13.60	54.67	4.26	11.17	8.13	8.18	5 951.6
	其他草地	0.51	26.71	36.80	13.72	22.26	0.00	4 551.4
	其他林地	10.15	25.56	46.20	10.16	2.26	5.66	4 004.1
	其他土地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	37 497.5
	人工牧草地	1.69	18.23	34.55	8.45	5.47	31.61	5 502.3
	有林地	12.47	12.01	33.70	27.48	14.35	0.00	3 988.2
2011 年	独立工矿用地	1.63	2.74	4.95	7.20	26.30	57.18	14 666.4
	灌木林地	65.85	7.94	22.11	4.09	0.00	0.00	1 034.0
	果园	76.41	0.00	0.00	23.59	0.00	0.00	1 420.6
	旱地	41.86	44.76	5.95	2.73	2.90	1.80	2 603.3
	其他草地	16.70	39.05	40.93	3.31	0.00	0.00	2 472.4
	其他林地	31.06	24.58	35.92	6.38	2.06	0.00	2 690.5
	其他土地	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	14 321.3
	人工牧草地	76.33	0.00	23.67	0.00	0.00	0.00	926.6
	有林地	26.75	32.91	32.86	6.42	0.00	1.07	2 581.4

注:使用 CSLE 模型计算。

3 结论

(1) 本次监测采用的是均匀抽样调查方法, 抽样调查比例为 1%, 39 个抽样小流域坡度的频率分布与该县坡度分布大体一致, 抽样调查和遥感调查的各种土地利用类型面积相差不大。因此, 1% 的抽样比例能够很好地代表吴起县的地形和土地利用。

(2) 2009 和 2011 年, 吴起县土壤侵蚀影响因子发生了一定程度的变化。其中, 2011 年降雨侵蚀力比 2009 年降雨侵蚀力低 $329.1 \text{ MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$; 2011 年的水土保持措施因子中的生物措施因子和工程措施因子值均比 2009 年的有所降低; 土地利用变化则是以灌木林和草地为主, 从 2009—2011 年, 灌木林地面积减少了 10.37%, 其他草地面积增加了 11.79%, 有林地面积则略有增加。

(3) 2009—2011 年吴起县土壤侵蚀强度大幅度降低。2011 年比 2009 年的平均侵蚀强度减少了 $2\,276 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 从 2009 年的中度侵蚀降为 2011 年的轻度侵蚀, 最大侵蚀强度由 $88\,285 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 减少到 $66\,563 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。同时, 与 2009 年相比, 2011 年的微度和轻度侵蚀都显著增加, 而中度、强烈、极强烈和剧烈侵蚀等级比例都有不同程度的减少。其中, 强烈侵蚀到剧烈侵蚀的面积比例都减少了 5% 以上, 面积不到该县总面积的 15%。

[参 考 文 献]

- [1] 杨勤科, 李锐, 刘咏梅. 区域土壤侵蚀普查方法的初步讨论[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(3): 1-6.
- [2] 史德明, 石晓日, 李德成, 等. 应用遥感技术监测土壤侵蚀动态的研究[J]. 土壤学报, 1996, 33(1): 48-58.
- [3] 龚文峰, 吴学伟, 孔达, 等. 基于 RS 和 GIS 哈尔滨段松花江流域土壤侵蚀动态变化研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(2): 1-3, 10.
- [4] 林敬兰, 杨学震, 陈明华. 基于 3S 技术的福建省土壤侵蚀动态监测研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 155-157, 177.
- [5] 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 不同土地利用背景下土壤侵蚀空间分布规律研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 48-51.
- [6] 齐晓君, 王恩德, 贾三石. 基于 GIS 和 RS 的抚顺市土壤侵蚀动态研究[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(9): 1342-1345.
- [7] 裴厦, 姚治君, 章予舒, 等. 基于 RS 和 GIS 的西藏察雅县土壤侵蚀动态监测与分析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 302-309.
- [8] 吴永红. 宁夏土壤侵蚀动态变化与原因分析[J]. 干旱区研究, 2004, 21(3): 259-262.
- [9] 张翼. 黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀研究进展[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 121-124, 128.
- [10] 黄麟, 邵全琴, 刘纪远. 近 30 年来青海省三江源区草地的土壤侵蚀时空分析[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(1): 12-21.
- [11] 范建容, 柴宗新, 刘淑珍, 等. 基于 RS 和 GIS 的四川省李子溪流域土壤侵蚀动态变化[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 25-28.
- [12] 何兴元, 胡志斌, 李月辉, 等. GIS 支持下岷江上游土壤侵蚀动态研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2271-2278.
- [13] 邱利, 张仁陟, 张富, 等. 基于 RS 与 GIS 的定西市安定区土地利用变化与土壤侵蚀研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(2): 40-45.
- [14] 蔡庆, 唐克丽. 植被对土壤侵蚀影响的动态分析[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 47-51.
- [15] 万军, 蔡运龙, 张惠远, 等. 贵州省关岭县土地利用/土地覆被变化及土壤侵蚀效应研究[J]. 地理科学, 2004, 24(5): 573-579.
- [16] 许月卿, 冯艳, 周东, 等. 贵州省猫跳河流域土壤侵蚀动态变化分析[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 186-190.
- [17] 吕世海, 陈贵廷, 叶生星. 基于 GIS 的呼伦贝尔地区土壤侵蚀动态变化研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 56-60, 108.
- [18] 冯磊, 孙保平, 李锦荣, 等. GIS 方法和 USLE 模型在退耕还林区土壤侵蚀动态变化评价中的运用: 以甘肃定西市安定区为例[J]. 湖南农业科学, 2011(11): 82-85, 89.
- [19] 孟庆香, 刘国彬, 杨勤科. 黄土高原土壤侵蚀时空动态分析[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 20-22.
- [20] Nusser S M, Goebel J J. The national resources inventory: A long-term multi-resource monitoring programme[J]. Environmental and Ecological Statistics, 1997, 4(3): 181-204.
- [21] Liu Baoyuan, Zhang Keli, Xie Yun. An Empirical Soil Loss Equation [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [22] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室. 第一次全国水利普查培训教材之六: 水土保持情况普查[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.
- [23] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 35-41.
- [24] 张科利, 彭文英, 杨红丽. 中国土壤可蚀性值及其估算[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 7-13.
- [25] 汤国安, 赵牡丹, 李天文, 等. DEM 提取黄土高原地面坡度的不确定性[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 824-830.
- [26] Liu Baoyuan, Nearing M A, Shi Peijun. Slope length effects on soil loss for steep slopes[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(5): 1759-1763.
- [27] 张岩, 刘宪春, 李智广, 等. 利用侵蚀模型普查黄土高原土壤侵蚀状况[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 165-171.
- [28] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning [M]. USDA: Agriculture Handbook, 1978.