

沂蒙山区典型小流域土壤侵蚀与环境影 响因子耦合关系

李 扬<sup>1</sup>, 刘 霞<sup>1</sup>, 姚孝友<sup>2</sup>, 张光灿<sup>1</sup>, 徐艳会<sup>1</sup>

(1. 山东农业大学 林学院 水土保持系, 山东农业大学 农业生态与环境重点实验室, 山东 泰安 271018; 2. 水利部 淮河水利委员会水土保持处, 安徽 蚌埠 233001)

**摘 要:**以沂蒙山区曲阜九仙山小流域为研究区域, 基于“3S”技术, 对 2009 年九仙山小流域土壤侵蚀特征及其环境影响因子进行了系统研究。研究结果表明: 九仙山小流域土壤侵蚀在侵蚀强度上呈现整体以轻度侵蚀、中度侵蚀为主, 局部有强烈和极强烈侵蚀的土壤侵蚀特征; 土地利用、植被盖度、坡度、海拔等环境因子对流域土壤侵蚀影响密切。研究成果可为小流域水土保持决策提供参考。

**关键词:**土壤侵蚀; 环境因子; 土地利用; 植被盖度; 坡度; 海拔

**中图分类号:** S157; X171.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1005-3409(2011)02-0066-05

Coupling Relationship between Soil Erosion and Environmental Factors in Typical Watershed of Yimeng Mountion

LI Yang<sup>1</sup>, LIU Xia<sup>1</sup>, YAO Xiao-you<sup>2</sup>, ZHANG Guang-can<sup>1</sup>, XU Yan-hui<sup>1</sup>

(1. Department of Soil and Water Conservation of Forestry College, Key Laboratory of Agricultural Ecology and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China;  
2. Soil and Water Conservation Division of Huaihe River Committee of Water Resources Ministry, Bengbu, Anhui 233001, China)

**Abstract:** Jiuxianshan watershed undergone water and soil conservation ecological restoration in Qufu was taken as the study area, and the soil erosion situation and the relationship of the environmental factors and soil erosion were studied by using 3S technique. The results show that: Jiuxianshan watershed on the whole belongs to light erosion and moderate erosion, and serious and extremely erosion is only in some areas; The relationships among soil erosion and the way of land utilization, vegetation coverage, the slope, the environmental factors are close. The research results can provide technical support and determine the reasonable water and soil conservation measures.

**Key words:** soil erosion; environmental factors; land utilization; vegetation coverage; slope; elevation

土壤侵蚀是指地球表面的土壤及其母质受水力、风力、冻融、重力等外力的作用, 在各种自然因素和人为因素的影响下, 发生破坏、分离、搬迁和沉积的现象<sup>[1]</sup>。土壤侵蚀不仅涉及到自然环境因子, 而且也包括社会经济因子, 是自然因素和人为活动综合作用的结果, 影响土壤侵蚀的自然因子有很多, 如降雨等气候因子, 坡度、坡长、沟道密度等地形因子, 土壤性质因子, 地貌因子、土地利用因子以及植被覆盖、植被种类等植被因子等。大体上可分为产生因子(如气候因子)和影响因子(如地形、土壤、土地利用、植被等下垫面因子)<sup>[2]</sup>。这些因子中, 在小流域尺度上, 产生因子

相对一致, 因而, 本研究中不做主要分析, 而主要研究地理位置环境及土地利用方式与土壤侵蚀之间的关系。

沂蒙山区隶属淮河流域, 是典型的北方土石山区, 土壤侵蚀较为严重。九仙山小流域做为沂蒙山区的典型小流域, 20 世纪 50 年代开始治理, 并于 1981 年在小流域内建立了水土保持试验站, 基础数据较为齐全, 以其作为研究区域, 主要讨论土地利用类型、植被盖度、坡度、海拔等环境因子与土壤侵蚀的关系, 能够反映沂蒙山区土壤侵蚀空间规律的共性, 以期从小流域尺度范围内为环境治理提供决策依据。

收稿日期: 2010-09-07      修回日期: 2010-10-26  
资助项目: 水利部淮河水利委员会“淮河流域典型小流域水土保持综合调查”  
作者简介: 李扬(1986—), 男, 在读研究生, 主要研究方向: 流域治理与信息技术。E-mail: shuibaos@sdau.edu.cn  
通信作者: 刘霞(1971—), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向: 水土保持生态修复和水土保持信息技术。E-mail: liuxia@sdau.edu.cn

1 研究区概况

沂蒙山区位于淮河上中游地区,包括山东的沂河、沭河、泗河流域以及东部沿海傅疃河流域。九仙山小流域位于沂蒙山区西北部,位于 116°58′—117°03′E,35°44′—35°48′N。该流域地形北高南低,北、东、西三面环山,形成向南倾斜的簸箕形,面积为 9.02 km<sup>2</sup>,海拔高度在 96.2~548.2 m。该流域出露的岩石类型多为太古代泰山群花岗片麻岩,属砂石山区。气候属暖温带半干旱、半湿润、季风大陆性气候,多年平均降水量 630.1 mm,降雨在时空分布不均。流域多年平均气温 14.2℃,≥10℃ 年平均积温 4 557.8℃,年平均日照时数 2 478.3 h,无霜期 199 d。该流域内原生植被稀少,现有植被主要以人工林和野生灌木为主。乔木树种以侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、杨树(*Populus tomentosa*)、麻栎(*Quercus acutissima*)为主,灌木树种以黄荆(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、酸枣(*Ziziphus jujub* var. *spinosa*)、多花胡枝子(*Lespedeza floribunda*)为主。该区属鲁中南低山丘陵强度侵蚀区,以水力侵蚀为主,为曲阜市水土流失重点治理区。

2 研究方法

2.1 数据源采集与土壤侵蚀相关因子解译

本研究采用 2009 年 0.25 m 高分辨率航片,并搜集了小流域 1:1 万地形图等相关图件。

基于 Erdas Imagine 8.7 遥感软件和 Region Manager 5.5 地理信息系统技术平台,对九仙山小流域遥感影像进行处理。以《土地利用现状分类》国家标准(GB/T 21010—2007)为原则,参考我国土地资源遥感调查与监测技术规程中刘纪元先生提出的“基于遥感 TM 影像的土地利用分类系统设计原则和土地利用分类系统”<sup>[3]</sup>,结合研究目的和区域特点,将小流域水浇地、旱梯田等 11 个土地利用类型地类,生成土地利用现状图;将小流域 1:1 万地形图矢量化,生成数字高程 DEM 和坡度分级图;利用 GPS 确定野外标准样区并采集该样区的植被覆盖度数据,获得植被盖度分布图;根据水利部部颁土壤侵蚀强度分级标准(SL190—2007)确定土壤侵蚀强度,将本研究区内土壤侵蚀分为微度、轻度、中度、强烈和极强烈侵蚀 5 种强度级别<sup>[4-5]</sup>。按照遥感影像判读精度,对照影像预判结果,选择具有代表性的点和区域,结合土壤、地质、气候和实地 GPS 定位调查结果等因子对解译结果进行综合分析及纠正<sup>[6]</sup>。

2.2 土壤侵蚀强度指数模型

为了更加直观地表示不同土地利用类型上的土壤侵蚀强度,在这里引入土壤侵蚀强度指数模型<sup>[7-8]</sup>。

$$E_j=100\times\sum_{i=1}^nC_i\times A_i/S_j$$

式中: $E_j$ ——第  $j$  种土地利用方式的土壤侵蚀强度指数; $C_i$ ——第  $j$  种土地利用方式第  $i$  类土壤侵蚀强度分级值; $A_i$ ——第  $j$  种土地利用方式  $i$  类土壤侵蚀所占的面积; $S_j$ ——第  $j$  种土地利用方式所占的土地面积; $n$ ——第  $j$  种土地利用方式土壤侵蚀的类型总数,为了方便统计分析,将其扩大 100 倍<sup>[9]</sup>,其中,侵蚀等级的微度、轻度、中度、强烈和极强烈的分级值分别为 1,2,3,4,5,分级值越大,土壤侵蚀越严重。

3 结果与分析

3.1 九仙山小流域土壤侵蚀强度与面积

2009 年九仙山小流域土壤侵蚀强度与面积分布见表 1,由表 1 可以看出,九仙山小流域土壤侵蚀在侵蚀强度上呈现整体以轻度侵蚀、中度侵蚀为主,局部有强烈和极强烈侵蚀的土壤侵蚀特征。

小流域土壤侵蚀面积为 432.20 hm<sup>2</sup>,占总土地面积的 47.91%。不同强度土壤侵蚀面积表现为轻度侵蚀>中度侵蚀>强烈侵蚀>极强烈侵蚀。其中:轻度侵蚀和中度侵蚀面积合计为 407.18 hm<sup>2</sup>,占小流域土地面积的 45.14%,占土壤侵蚀面积的 94.21%。强烈侵蚀和极强烈侵蚀面积合计为 25.02 hm<sup>2</sup>,占小流域土地面积的 2.77%,占土壤侵蚀面积的 5.79%。

表 1 九仙山小流域 2009 年土壤侵蚀强度与面积

级号	侵蚀类型	面积/ hm <sup>2</sup>	占土地总 面积/%	占土壤侵蚀 面积/%
1	微度侵蚀	469.91	52.09	
2	轻度侵蚀	226.13	25.07	52.32
3	中度侵蚀	181.03	20.07	41.89
4	强烈侵蚀	20.51	2.27	4.74
5	极强烈强度	4.53	0.50	1.05

注:小流域面积为 902.11 hm<sup>2</sup>,土壤侵蚀面积为轻度及其以上强度侵蚀面积之和。

3.2 不同环境影响因子下的土壤侵蚀强度

3.2.1 土地利用与土壤侵蚀 如表 2 所示,土壤侵蚀在不同土地利用类型上的分布有一定的差异。在各土地利用类型中,灌木林地侵蚀最为严重,土壤侵蚀强度指数最大,侵蚀面积接近该土地利用类型面积的 100%;荒草地的侵蚀也较为严重,土壤侵蚀强度指数仅次于灌木林地。居民点及交通运输用地、水域及水工建设用地和裸岩石砾地无土壤侵蚀情况。从土壤侵蚀强度指数看出,不同土地利用类型的土壤侵蚀强度由大到小依次为灌木林地(312)>荒草地

(263)＞防护林(203)＞经济林(200)＞果园(180)＞用材林(145)＞水浇地(137)。

表 2 九仙山小流域不同土地利用/植被类型区土壤侵蚀面积

土地利用 分类	区域面积/ hm <sup>2</sup>	微度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	轻度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	中度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	强烈侵蚀/ hm <sup>2</sup>	极强烈 侵蚀/hm <sup>2</sup>	区域侵蚀 面积/hm <sup>2</sup>	土壤侵蚀 强度指数
水浇地	116.53	86.8	17.6	10.57	1.56	0	29.73	137
旱梯田	71.78	71.78	0	0	0	0	0	100
果园	16.16	4.14	11.04	0.98	0	0	12.03	180
防护林	418.91	130.06	157.78	120.88	8.15	2.04	288.86	203
经济林	9.96	2.22	5.48	2.26	0	0	7.74	200
用材林	59.17	35.20	22.14	1.29	0.53	0.01	23.96	145
灌木林地	42.94	0.18	5.61	28.03	7.23	1.89	42.75	312
荒草地	31.78	4.67	6.48	17.00	3.04	0.59	27.10	263
居民点及交 通运输用地	46.79	46.77	0	0.02	0	0	0	100
水域及水工 建设用地	48.92	48.92	0	0	0	0	0	100
裸岩石砾地	39.17	39.17	0	0	0	0	0	100
合计	902.11	469.91	226.13	181.03	20.51	4.53	432.20	

注:区域侵蚀面积为轻度及其以上强度侵蚀面积之和。

结合附图 6—9 可以看出,灌木林地大多分布于较为陡峭的山坡上,坡度较大,灌木植被覆盖度较低,而且基本没有枯落物,致使这一区域的水土流失较大,因此灌木林地成为九仙山小流域土壤侵蚀最严重的土地利用类型;小流域内分布有较多的荒草地,大部分分布在坡面,植物覆盖度较低,水分缺乏,植被稀疏,加之山坡坡度较大,其保水保土的能力极低,土壤侵蚀情况也较为严重;防护林具有改良土壤、保水保肥的能力,根系发达,保持土壤,减少土壤流失效果好,但九仙山小流域内防护林植被类型较为单一,山坡上多为次生幼年毛白杨,林冠稀疏,树木的枝叶对降雨量的拦截较少,树下未形成枯落物层,雨滴直接击打地面,且防护林大多种植在坡度较大的区域,故而在多种因素下造成了一定的水土流失;经济林、果园、用材林一般种植于水平梯田或者开阔平坦的区域,由于林下枯落物较少,林冠也比较稀疏,截流和固持土壤的能力极低,也出现了水土流失的情况;水浇

地这种土地利用类型大部分位于平坦开阔的区域,水土流失状况较为轻微;其他区域如居民点及交通运输用地、水域及水工建设用地和裸岩石砾地,没有土壤覆盖,无土壤侵蚀情况。

3.2.2 坡度与土壤侵蚀 不同坡度上的土壤侵蚀分布面积如表 3 所示:<5°区域为微度侵蚀,无明显土壤侵蚀;5°~8°区域面积较小,以轻度侵蚀为主,侵蚀面积为 45.44 hm<sup>2</sup>,并有少量的中度侵蚀和微度侵蚀;8°~15°区域主要以轻度侵蚀为主,侵蚀面积为 82.36 hm<sup>2</sup>,占其面积的 62.58%,并有部分中度侵蚀和微度侵蚀;15°~25°区域包含微度、轻度、中度和强烈等侵蚀分级,其中,轻度侵蚀面积最大,为 97.11 hm<sup>2</sup>,微度侵蚀次之,强烈侵蚀面积较少,仅为 4.76 hm<sup>2</sup>; >25°区域出现极强烈侵蚀,25°~35°区域与 >35°区域极强烈侵蚀面积分别为 2.26 hm<sup>2</sup>、2.27 hm<sup>2</sup>,侵蚀强度均以中度侵蚀为主,其侵蚀面积分别占等级区域面积的 56.75%、38.54%。

表 3 不同坡度等级土壤侵蚀面积

坡度/ (°)	微度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	轻度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	中度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	强烈侵蚀/ hm <sup>2</sup>	极强烈 侵蚀/hm <sup>2</sup>	区域侵蚀 面积/hm <sup>2</sup>	占等级区域 面积比例/%
<5	230.71	0	0	0	0	0	0
5~8	24.84	45.44	0.38	0	0	45.82	64.85
8~15	49.24	69.27	13.09	0	0	82.36	62.58
15~25	97.11	110.08	62.13	4.76	0	176.97	64.57
25~35	61.79	1.29	94.27	6.49	2.26	104.31	62.80
>35	6.22	0.05	11.16	9.26	2.27	22.74	78.52
合计	469.91	226.13	181.03	20.51	4.53	432.20	47.91

注:小流域面积为 902.11 hm<sup>2</sup>;区域侵蚀面积为轻度及其以上强度侵蚀面积之和。

从土壤侵蚀在各坡度级的分布特点可以看出:九仙山小流域各级土壤侵蚀面积并不是随着坡度的

增加而一直增加的,而是存在某一临界坡度(位于 15°~25°之间)。在临界坡度前,土壤侵蚀面积随着坡度的增加而增加,但当到达这一临界坡度后,土壤侵蚀面积即随坡度的增加而呈下降趋势。这与前人研究相同<sup>[10-12]</sup>。5°~15°区域分布有耕地与经济林,人类活动较为频繁,在耕作过程中对土地的扰动,造成了水土的流失;15°~25°区域大面积低郁闭度防护林及低覆盖度的荒草坡是造成这一区域土壤侵蚀的主要原因,侵蚀强度以微度侵蚀为主;25°以上区域坡度较大,地势较为陡峭,而处在这一区域的灌木林地和防护林植被盖度较低,抗雨滴击打和固持土壤的能力差,极易形成径流,带走地表土壤,水土流失较为严重。

表 4 不同植被盖度等级土壤侵蚀面积

植被 盖度/%	微度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	轻度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	中度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	强烈侵蚀/ hm <sup>2</sup>	极强烈侵蚀/ hm <sup>2</sup>	区域侵蚀 面积/hm <sup>2</sup>	占等级区域 面积比例/%
<15	135.10	0	0.02	0	0	0.02	0.02
15~30	0.64	0.01	1.15	3.20	2.90	7.26	91.90
30~45	3.14	2.13	8.37	6.49	1.63	18.62	85.57
45~60	106.34	189.07	100.51	10.30	0	299.88	73.82
60~75	103.45	34.92	70.98	0.52	0	106.42	50.71
>75	121.24	0	0	0	0	0	0
合计	469.91	226.13	181.03	20.51	4.53	432.20	47.91

究其原因,植被盖度<15%的区域为居民点及交通运输用地、水域及水工建设用地和裸岩石砾地,基本没有土壤覆盖,因此无土壤侵蚀存在;15%~30%植被盖度区域,植被较为稀疏,基本为荒草坡与灌木林地,这一区域水土流失较为严重;30%~45%植被盖度的区域,大部分为经济林和灌木林地,水土保持效果较差,以中度侵蚀为主;45%~60%植被盖度区域中有大部分的耕地,耕地所处于地势较为平坦,因而以微度侵蚀为主,但是也有大部分的防护林以及经济林等,他们所处于坡度较大的区域,产生了一定的侵蚀;60%~75%植被盖度区域大部分为防护林,具有一定的郁闭度,由于防护林所处地坡度大、海拔较高,土壤侵蚀以轻度侵蚀为主;植被盖度>75%的区域森林郁闭度很好,林下枯落物非常丰富,水土保持

效果很好,基本无土壤侵蚀情况。

3.2.3 植被盖度与土壤侵蚀 九仙山小流域不同植被盖度区域的土壤侵蚀强度面积调查结果见表 4。结果显示不同植被盖度区域的土壤侵蚀强度状况具有一定差别。其中:小流域<15%和>75%两种植被盖度分级主要以微度侵蚀为主,基本没有其他的土壤侵蚀强度等级;15%~30%覆盖度区域的土壤侵蚀强度基本上以中度和中度以上侵蚀为主,其中,强烈侵蚀面积最大,为 3.20 hm<sup>2</sup>,其次是极强烈侵蚀,面积为 2.90 hm<sup>2</sup>,侵蚀面积占区域面积的 91.90%;30%~45%覆盖度区域的土壤侵蚀强度以中度侵蚀为主;45%~60%覆盖度区域主要以轻度侵蚀为主,为 189.07 hm<sup>2</sup>,中度侵蚀次之;60%~75%覆盖度区域主要以轻度侵蚀为主,面积为 134.92 hm<sup>2</sup>。

3.2.4 海拔高度与土壤侵蚀 土壤侵蚀在各海拔梯度的分布有所差异,如表 5 所示:0~100 m 与 100~200 m 两个海拔梯度以微度侵蚀为主,土壤侵蚀面积均占该区域面积的 28%左右,其中 0~100 m 海拔梯度无中度侵蚀,100~200 m 包括所有的侵蚀等级;200~300 m 范围内土壤侵蚀最为严重,以中度侵蚀为主,侵蚀面积较大,这一海拔梯度为九仙山小流域的重点侵蚀区域;300~500 m 海拔范围内,土壤侵蚀面积有所下降,侵蚀面积占区域面积的 58%左右,以微度侵蚀为主,轻度与中度侵蚀也均有大面积分布;在>500 m 海拔范围内,侵蚀面积继续降低,为 52%左右,以轻度、微度侵蚀为主,无极强烈侵蚀。

表 5 不同海拔梯度土壤侵蚀面积

海拔/ m	微度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	轻度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	中度侵蚀/ hm <sup>2</sup>	强烈侵蚀/ hm <sup>2</sup>	极强烈侵蚀/ hm <sup>2</sup>	区域侵蚀 面积/hm <sup>2</sup>	占等级区域 面积比例/%
0~100	0.62	0.02	0	0.18	0.05	0.25	28.86
100~200	300.51	92.85	25.71	2.75	0.27	121.59	28.81
200~300	58.92	66.75	81.48	10.36	2.05	160.65	73.17
300~400	69.24	38.37	50.67	4.59	1.07	94.70	57.76
40~500	33.44	20.32	23.11	2.48	1.08	46.99	58.42
>500	7.17	7.82	0.06	0.14	0	8.02	52.77
合计	469.91	226.13	181.03	20.51	4.53	432.20	47.91

土壤侵蚀面积随着海拔梯度的增加呈现倒“U”字形的变化趋势,土壤侵蚀面积在低海拔梯度随着海拔的上升而增加,但到了某一峰值后,继而随着海拔的上升侵蚀面积呈现下降的趋势。0~200 m 海拔范围内,地势平坦,多为居民点,土壤侵蚀较轻;200~300 m 是人类活动的主要范围,集中着大面积的耕地、经济林,以及部分的荒草坡,故而出现了较严重的水土流失;小流域的低山丘陵大都分布在 300~500 m 这一海拔梯度范围,人类活动减少,侵蚀面积明显减少,较 200~300 m 海拔梯度分别下降 65.95 hm<sup>2</sup>、113.66 hm<sup>2</sup>;500 m 以上海拔地区几乎没有受到人为干扰,加上植被覆盖好,水土流失持续减少。

## 4 结 论

(1)据 2009 年九仙山小流域调查结果,小流域土壤侵蚀整体以轻度侵蚀、中度侵蚀为主,强烈和极强烈侵蚀面积所占比例较小,土壤侵蚀面积为 432.20 km<sup>2</sup>,占土地总面积的 47.91%。

(2)在不同土地利用方式下,土壤侵蚀强度由大到小依次为灌木林地>荒草地>防护林>经济林>果园>用材林>水浇地。低覆盖度的灌木林地土壤侵蚀最为严重,建议在不破坏原有灌木植被的情况下加大地表植被覆盖度。流域内的防护林也产生一定的土壤流失,树种单一、森林郁闭度低是主要的问题。部分山坡没有得到治理,遍生低覆盖度荒草,水土保持效益较差,需要进行补植措施。经济林这种土地利用类型也带来一系列的水土流失问题,需要加强石坎梯田的建设,最大限度的控制这一部分的水土流失。

(3)九仙山小流域各级土壤侵蚀面积随着坡度的增加表现为先增后减。≤25°区域有大量土壤侵蚀发生,因为该区域是人类生产生活的主要场所,且农耕作业主要在 15°以下,15°~25°发生侵蚀的主要原因是顺坡园地及低覆盖荒草坡、防护林的大量存在,建议修建水平梯田及鱼鳞坑等水土保持工程。

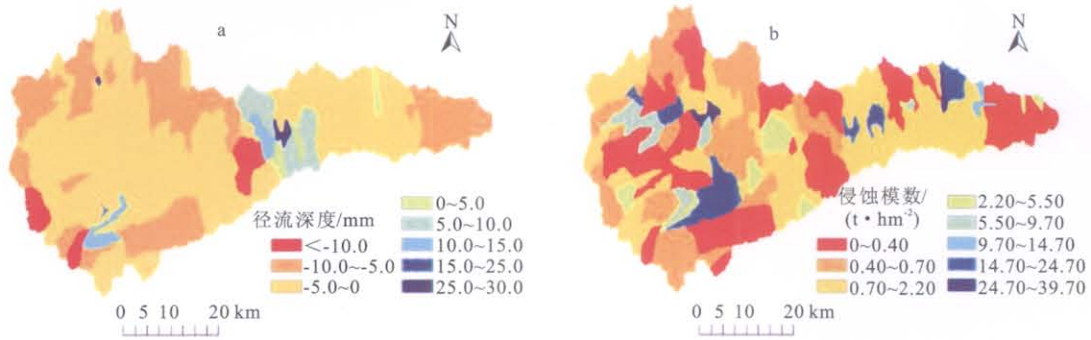
(4)不同植被盖度区域的土壤侵蚀强度状况具有一定差别,表现为高覆盖度区域土壤侵蚀小,低覆盖度区域土壤侵蚀严重。15%~30%、30%~45%覆盖

度区域是侵蚀最为严重的两个区域,其土地利用类型多为低覆盖荒草坡、灌木林地及果园,水土保持效果不好,需要进行土地利用的调整及增加地表覆盖度。

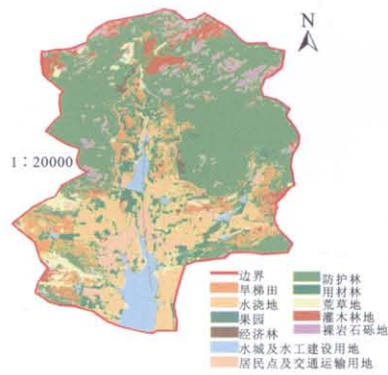
(5)土壤侵蚀面积随着海拔梯度的增加呈现倒“U”字形的变化趋势,海拔 100~300 m 是土壤侵蚀发生集中的区域,这一区域为人类活动频繁的低海拔区域,主要为丘陵分布,其特殊的地形加上人类频繁的活动使得这一区域成为水土流失的敏感区。规范人类的活动,对于减轻该区土壤侵蚀具有重要的意义。

## 参考文献:

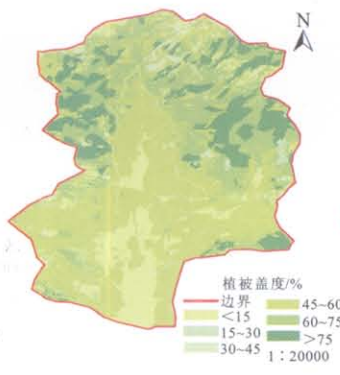
- [1] Meyer L D. Evaluation of the universal soil loss equation [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1984, 39: 99-104.
- [2] 刘权,王忠静,刘湘南. GIS 支持下辽河中下游土壤侵蚀遥感动态分析[J]. 水土保持通报, 2005, 25(1): 64-67.
- [3] 刘纪元. 中国资源环境遥感宏观调控动态研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [4] 吴亚宁,张虎林,杨丽萍. 黄河流域甘肃片土壤侵蚀遥感普查的初步分析[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(6): 398-401.
- [5] 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.
- [6] 刘霞,姚孝友,袁利,等. 鲁中山区不同水土保持生态修复措施对土壤侵蚀的影响[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5): 27-31.
- [7] 王思远,王光谦,陈志祥. 黄河流域土地利用与土壤侵蚀的耦合关系[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(1): 32-37.
- [8] 姚华荣,崔保山. 澜沧江流域云南段土地利用及其变化对土壤侵蚀的影响[J]. 环境科学学报, 2006, 26(8): 1362-1371.
- [9] 刘艳锋. 岷江上游土壤侵蚀与土地利用的耦合关系研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 161-165.
- [10] 彭华. 土壤侵蚀临界坡度研究进展[J]. 水土保持科技情报, 2004(2): 30-32.
- [11] 席有. 坡度影响土壤侵蚀的研究[J]. 中国水土保持, 1993(4): 19-21.
- [12] 赵晓光,吴发启,刘秉正. 再论土壤侵蚀的坡度界限[J]. 水土保持研究, 1999, 16(6): 42-46.



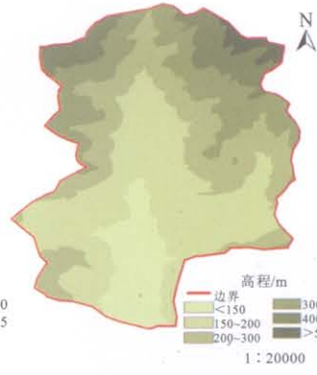
附图5 沔河流域水土流失空间差异评估



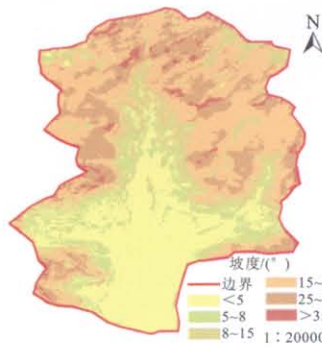
附图6 九仙山子流域土地利用图



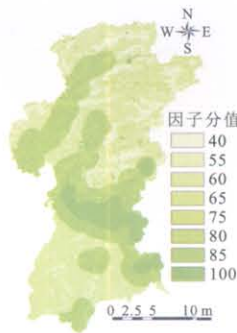
附图7 九仙山子流域植被盖度图



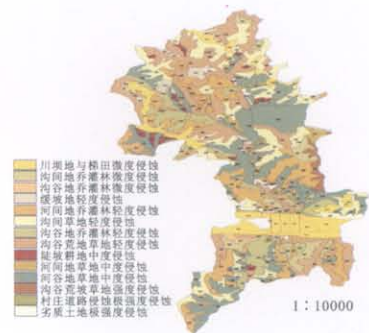
附图8 九仙山子流域DEM图



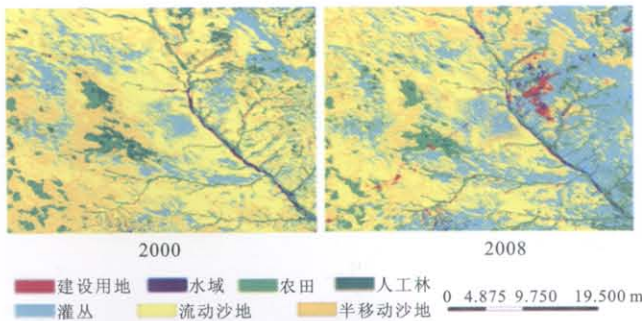
附图9 九仙山子流域坡度图



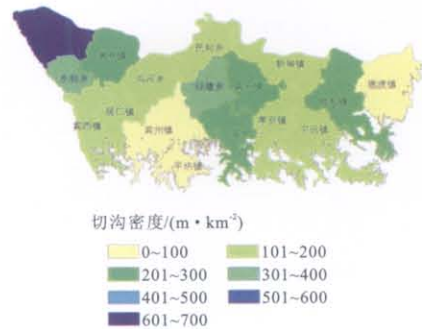
附图10 分宜县水源可及度因子分值图



附图11 安塞县侯门村土壤侵蚀类型图



附图12 2000年、2008年榆神矿区景观格局



附图13 宾县各乡镇切沟密度分布图