

岷江上游土壤侵蚀与土地利用的耦合关系研究

刘艳锋^{1,2}, 陈学华^{1,3*}, 贺秀斌¹, 熊波^{1,2}

(1. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100041;
3. 四川省委政法委, 四川 成都 610015)

摘要:利用岷江上游地区 2005 年土地利用数据和土壤侵蚀数据,在 GIS 技术支持下,研究了该地区土壤侵蚀强度与土地利用类型之间的耦合关系。结果表明,土壤侵蚀与土地利用具有很大的关系,土地利用直接影响着土壤侵蚀强度及空间分布。岷江上游土地利用以林地和草地为主,裸岩和建设用地的侵蚀面积仅占 0.11%。不同土地利用方式下的土壤侵蚀强度指数不同,依次为:旱地>低盖度草地>其他林地>中盖度草地>水域>高盖度草地>建设用地>疏林地>灌木林地>有林地>水田>裸岩。土壤侵蚀以微度水蚀为主,占 35.43%,主要发生在有林地和灌木林地,分别占研究区总面积 14.24%和 11.70%;轻度及中强度水蚀则多发生在中盖度草地;随着土壤侵蚀强度增加,旱地侵蚀面积逐渐增大,且远远大于水田;冻融侵蚀占研究区总面积 26.96%,多分布在中盖度草地,为 20.89%。因此,合理土地利用方式的选择,土地利用格局的优化,对于减轻水土流失,控制土壤侵蚀,提高土地利用效益至关重要,也对促进该流域社会经济发展具有重要意义。

关键词:土壤侵蚀;土地利用;GIS;耦合关系;岷江上游;土壤侵蚀强度指数

中图分类号:S714.7

文献标识码:A

文章编号:1001-7461(2009)05-0161-05

Studies on the Coupling Relationship between Soil Erosion and Land Use in the Upper Reaches of Minjiang River

LIU Yan-feng^{1,2}, CHEN Xue-hua^{1,3*}, HE Xiu-bin¹, XIONG Bo^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China;
2. Graduated University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100041, China;
3. Sichuan Provincial Committee of Political Science and Law, Chengdu, Sichuan 610015, China)

Abstract: Coupling relationship between soil erosion intensity and land use types in the upper reaches of Minjiang River was studied by using the data of land use and soil erosion in 2005 with the support of GIS technology. Close relationship was found between soil erosion and land use, and the soil erosion intensity and spatial distribution were directly influenced by land use. Forests and grassland were the main land use types, bare rock and construction land area accounted for only 0.11%. Different land use patterns had different soil erosion intensity indices, and in the order of dry land>grass land with low coverage>other forest land>moderate coverage grass>water area>high coverage grass>construction land>open forest land>shrub land>forest land>paddy field>bare rock. Slight water erosion was the main type of soil erosion, accounting for 35.43%, and mainly occurring in forest land and shrub land, accounting for 14.24% and 11.70% of the study area respectively. Low and moderate intensive water erosion occurred in the grass land with moderate coverage. With the increase of the soil erosion intensity, erosion area of dry land gradually increased, and far greater than paddy fields. Frozen erosion accounted for 26.96% and mainly occurred in the grass land with moderate coverage, accounting for 20.89%. Therefore, reasonable land

收稿日期:2008-11-13 修回日期:2009-03-11

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)课题;长江流域环境与水资源演化规律(2003CB415201);中国科学院“西部之光”项目(2005, C20609090)。

作者简介:刘艳锋,女,硕士研究生,主要从事水土保持与水源污染研究。E-mail:yanfeng-liu-happy@163.com

*通讯作者:陈学华,男,研究员,博士生导师,主要研究方向:遥感与地理信息系统在资源环境中的应用研究。E-mail:xhchen@imde.cn

use type and optimized land-use pattern are essential for the control of soil erosion, protection of land resources and improvement land use efficiency, as well as for the promotion of socio-economic development of the basin.

Key words: soil erosion; land use; GIS; coupling relationship; upper reach of Minjiang River; soil erosion intensity index

土地资源是人类生存和发展的重要物质基础, 是进行农业生产最基本的物质条件^[1]。土地利用/土地覆盖变化(LUCC)是IGBP与IHDP的核心研究计划之一, 是全球环境研究的热点和前沿问题。IGBP II的土地研究指出, 土地利用/土地覆盖变化正在改变着对人类至关重要的生态系统功能和服务^[2]。随着人口增长和社会经济的高度发展, 土地利用开发程度不断增大, 土地退化日益严重^[3]。其中, 土壤侵蚀是最活跃的生态致灾因子之一, 它不仅使土地退化, 导致的水土流失还会造成河道淤积, 加剧洪涝灾害等造成严重的生态问题^[4-5]。随着三峡工程的建设, 1998年长江特大洪灾的警示, 长江流域特别是长江上游的水土保持、生态环境建设进入了一个新的时期^[6]。岷江是长江水系中水量较大的一条支流, 岷江上游是长江流域重要源头之一, 也是一个相对生态脆弱区。随着人口增长和对土地利用开发强度的增大, 土壤侵蚀已经成为区域可持续发展不可忽视的重要问题^[6]。因此, 研究岷江上游土壤侵蚀强度与土地利用类型的耦合关系具有重要理论和实践意义。

1 研究区概况

岷江是长江上游重要支流, 位于四川省境中部。发源于岷山弓杠岭和郎架岭, 流经松潘、汶川等县到都江堰出峡, 分内外两江到江口复合, 经乐山接纳大渡河, 到宜宾汇入长江。都江堰以上为上游, 位于102°59'~104°14'E, 31°26'~33°16'N, 流域面积24 656.95 km²。其范围与四川省阿坝藏族羌族自治州的汶川县、理县、茂县、黑水和松潘5县的行政区基本重合, 聚居了以羌族、藏族为主的大量少数民族, 是经济发展相对滞后的贫困山区^[7-8]。

岷江上游地处青藏高原边缘和成都平原接壤处, 地形复杂, 峡谷相间, 最高海拔6 253 m, 最低海拔870 m, 最大相对高差达5 383 m, 土壤、植被、气候等自然要素呈垂直带谱分布^[9]。该区上游属高原气候区, 中下游属亚热带气候区, 气温与降雨量均随地势由北向南递增。区内年均温7.5℃~13.5℃, 年降雨量490.7~835.8 mm^[10], 该区主要土壤类型为紫色土。随着人口增长和对土地资源开发强度的增大, 土壤侵蚀强度日趋严重, 形成侵蚀面积大、分布广、侵蚀量大等土壤侵蚀特点。

2 研究方法

2.1 数据源与数据处理

采用的数据来自于地球系统科学共享网西南分中心(<http://imde.geodata.cn>), 主要有岷江上游2005年土地利用图, 1:25万基础地理信息数据库, 1:10万DEM数据, 1:10万土壤数据库, 1:10万土壤侵蚀数据以及岷江流域各县行政界限数据等。数据投影为Albers, 双标准纬线为25°和47°, 中央经线为105°, 椭球体参数为Krasovsky, 坐标系为Beijing1954, 数据格式为ArcGIS下的coverage。

在ArcGIS9.2软件环境下, 通过数据分析和计算获得该流域土地利用和土壤侵蚀信息。综合中国《土地利用现状调查技术规程》和土地的用途、经营特点、利用方式及覆盖特征等因素, 将土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地共6个一级类型和15个二级类型。土壤侵蚀分类依据1997年开始实施的国家行业标准《SL190296(B) 土壤侵蚀分类分级标准》^[11], 并充分分析土壤环境、气候环境、植被环境、物质文化环境以及地形地貌, 将土壤侵蚀分为水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀、工程侵蚀、重力侵蚀5个一级类型。水力侵蚀又分为6个等级, 分别为微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈, 风力侵蚀与冻融侵蚀分别分为四级, 微度、轻度、中度和强度。该研究区主要是水力侵蚀和冻融侵蚀。

2.2 土壤侵蚀强度指数模型

为了更好地表示不同土地利用类型上的土壤侵蚀强度, 用土壤侵蚀强度指数来反映。在此, 土壤侵蚀强度指数用下式来计算^[12-13]:

$$E_j = 100 \times \sum_{i=1}^n C_i \times A_i / S_j \quad (1)$$

式中: E_j 代表第 j 种土地利用方式的土壤侵蚀强度指数; C_i 代表第 j 种土地利用方式第 i 类土壤侵蚀强度分级值; A_i 为第 j 种土地利用方式第 i 类土壤侵蚀所占的面积; S_j 为第 j 种土地利用方式所占的土地面积; n 为第 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。

不同土壤侵蚀类型、不同强度等级的分级值划分如下: 水力侵蚀的微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈的分级值分别为1、2、3、4、5、6, 风力侵蚀和

冻融侵蚀的分级值均为3。分级值越大,表明土壤侵蚀越严重。这样就可以根据土壤侵蚀强度指数定量地分析土壤侵蚀对土地利用方式的响应关系。

3 土壤侵蚀与土地利用的耦合关系研究

3.1 岷江流域土壤侵蚀与土地利用现状分析

图1和图2分别表示岷江上游2005年土地利用和土壤侵蚀空间分布图。岷江上游土地利用以草地和林地为主,分别占研究区总面积51.73%和45.53%。草地在研究区广泛分布,以中、高盖度草地为主,二者占49.92%;高盖度草地主要分布在西北部地区,占11.66%。林地主要分布在中部、南部以及沿江地区,以有林地和灌木林地为主,二者占研究区总面积40.02%。耕地主要沿江分布,且以旱地为主,占2.72%。水域主要分布在西北和西南部地区,占0.16%。未利用土地主要是裸岩,仅占0.06%。岷江上游土壤侵蚀主要是水力侵蚀和冻融侵蚀,水力侵蚀面积18 002.06 km²,分布非常广泛,占其总面积比重达73.01%,其中微度水蚀区占35.43%;冻融侵蚀面积达6 646.99 km²,占26.96%,主要分布在各山体的上部且以微度冻融侵蚀为主,这是由于该地区地势较高,气温较低。裸岩侵蚀很小,是因为在该研究区裸岩所占面积很小,侵蚀相对也较轻。在整个岷江上游土壤侵蚀中主要是

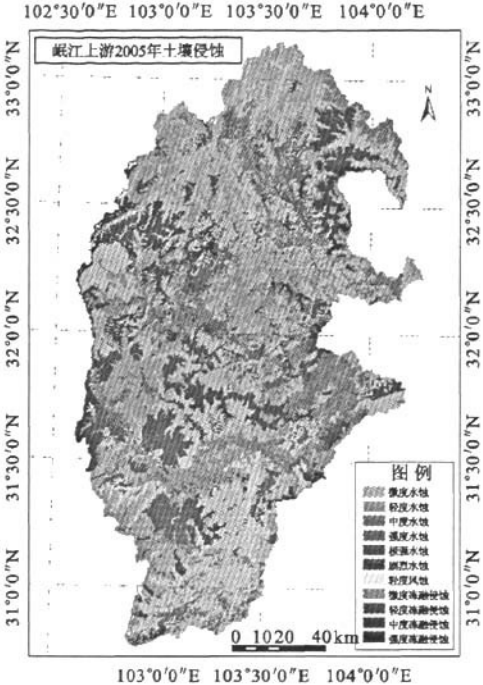


图2 岷江上游2005年土壤侵蚀图
Fig. 2 Spatial distribution of soil erosion in 2005, Minjiang River Basin

微度侵蚀,占侵蚀总面积47.60%,其次轻度、中度侵蚀分别占17.10%和23.12%,主要分布在坡度较大的地区。总体来看,岷江上游土壤侵蚀以微度侵蚀为主,若不加以改善保护,不合理利用土地,则有可能会进一步加重侵蚀。

3.2 不同土地利用类型下土壤侵蚀强度分布

将岷江上游2005年土地利用图和土壤侵蚀图在ArcGIS中进行叠加、统计等空间分析,获得不同土地利用类型上不同土壤侵蚀强度的面积、比重、土壤侵蚀强度指数(表1)。

表1 不同土地利用类型上土壤侵蚀强度分布
Table 1 Distribution of soil erosion intensity corresponding to land use

土地利用	侵蚀面积 /km ²	比重 /%	土壤侵蚀强度指数
水田	2.93	0.01	102
旱地	671.90	2.73	405
有林地	4 420.05	17.93	142
灌木林地	5 474.62	22.20	202
疏林地	1 284.95	5.21	214
其他林地	46.38	0.19	302
高盖度草地	2 876.22	11.66	239
中盖度草地	9 400.58	38.13	296
低盖度草地	412.87	1.67	318
水域	40.24	0.16	240
建设用地	12.03	0.05	233
未利用土地	14.17	0.06	100

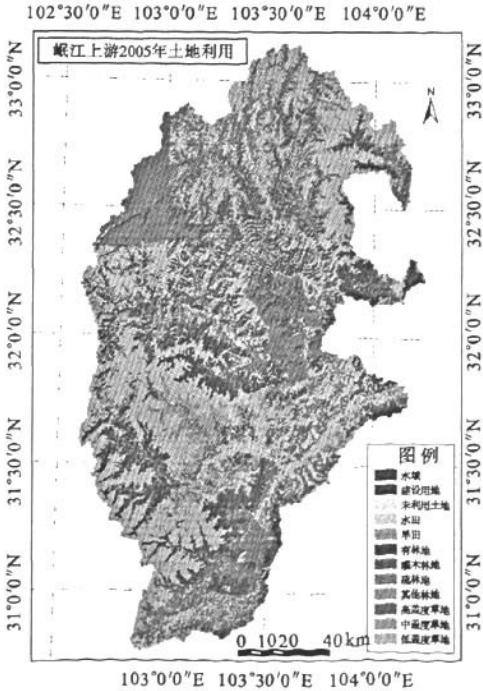


图1 岷江上游2005年土地利用图
Fig. 1 Spatial distribution of land use in 2005, Minjiang River Basin

岷江上游耕地土壤侵蚀中,水田较少,侵蚀也较轻;旱地则以轻度水蚀以上为主,轻度以上侵蚀面积占其总面积 84%。主要原因是水田多分布在沿江地区,地势低且平坦,不易形成水土流失;而旱地多分布在较大坡度,地势陡,垦殖活动多,破坏土壤结构,易造成水土流失。从土壤侵蚀强度指数也可以看出,旱地侵蚀是各土地利用类型中最高的。这说明人类活动对水土流失影响很大。

林地具有减轻水土流失、固结土壤作用,但由于人类活动的破坏,也造成一定程度的土壤侵蚀。该研究区林地侵蚀以微度侵蚀面积占其总面积 63.24%;其次轻度、中度和强度水蚀分别占林地总面积 9.41%、13.27%和 6.80%。根据土壤和气候的不同,林地又分为有林地—灌木林地—疏林地—其他林地(经济林为主),土壤侵蚀强度也不同。其中,有林地和灌木林地微度侵蚀显著,其次是轻度和中度。而疏林地微度水蚀区占其总面积 53.66%,其次为轻度和强度侵蚀显著。林地冻融侵蚀相对较大,占其总面积 3.51%。从土壤侵蚀强度指数来看,侵蚀强度大小依次为有林地<灌木林地<疏林地<其他林地。其他林地土壤侵蚀较强是因为主要是经济林,人类活动强烈,对其造成很大影响。

草地可以固结土壤表层,滞留水分,减少水土流失,但人类的破坏也会增加土壤侵蚀强度。岷江上游草地土壤侵蚀表现为水力侵蚀和冻融侵蚀。高盖度草地以微度水蚀为主,占其总面积的 35.24%;冻融侵蚀较严重,占其总面积的 31.32%。中盖度草地冻融侵蚀严重,占其总面积的 54.80%;水蚀以轻

度和中度为主,二者之和占其总面积 30.92%。低盖度草地则主要是中度侵蚀,占其总面积 45.85%。总体来看,中盖度草地冻融侵蚀最严重,侵蚀面积占草地总面积 39.02%,其次是高盖度草地,而低盖度草地冻融侵蚀相对很少。从土壤侵蚀强度指数来看,随着植被盖度降低,侵蚀强度逐渐增大,依次为低盖度草地<中盖度草地<高盖度草地。

岷江上游地形复杂,有积雪、高山湖泊的存在,水域侵蚀显著地表现为冻融侵蚀,占水域总面积 63.49%,且以微度侵蚀为主,占水域总面积 35.70%。建设用地虽然所占面积比重小,但由于人类活动剧烈,也造成了水土流失,98.92%是水力侵蚀造成的。该研究区未利用土地主要是裸岩,且所占面积很小,又没有开垦过,所以土壤侵蚀较轻。从土壤侵蚀强度指数也可以看出,未利用土地侵蚀程度最小。

以上分析说明,不同土地利用类型对土壤侵蚀的发育有不同的影响,不合理的土地利用方式对土壤侵蚀的影响表现为破坏土壤生态系统的平衡、降低土壤渗透性、增加地表径流、减少植被覆盖,最终导致严重的水土流失。同时也注意到,地表覆盖度大的地区土壤侵蚀远远低于疏密地区侵蚀,因此,应加强林地、草地的管理与调控。

3.3 不同土壤侵蚀下的土地利用类型分布

将岷江上游 2005 年土壤侵蚀图与 2005 年土地利用图在 ArcGIS 中做叠加、统计等空间分析,得出不同土壤侵蚀强度下土地利用类型的空间分布(表 2)。

表 2 不同土壤侵蚀强度下土地利用类型分布

Table 2 Distribution of land use corresponding to soil erosion intensity

km²

土地利用	微度 水蚀区	轻度 水蚀区	中度 水蚀区	强度 水蚀区	极强度 水蚀区	剧烈 水蚀区	风力 侵蚀	冻融 侵蚀
水田	2.90	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
旱地	55.59	41.16	119.03	193.60	94.84	158.59	0.00	9.09
有林地	3 511.57	185.82	459.69	100.75	50.89	10.93	0.00	98.13
灌木林地	2 885.08	831.00	706.18	514.53	184.59	99.59	0.00	253.12
疏林地	687.55	37.51	307.59	135.87	52.44	19.78	0.00	42.23
其他林地	10.45	2.21	16.26	11.70	1.87	3.40	0.00	0.50
高盖度草地	994.56	345.37	208.99	349.67	46.92	2.84	7.86	967.56
中盖度草地	550.81	1 106.46	1 800.51	585.09	131.15	46.13	0.00	5 151.42
低盖度草地	18.52	26.49	189.30	38.22	31.62	8.92	0.02	99.25
水域	13.50	0.86	0.32	0.00	0.01	0.00	0.00	25.55
建设用地	5.03	2.44	1.27	2.20	0.61	0.35	0.00	0.12
未利用土地	11.93	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01

岷江上游微度水蚀区以有林地、灌木林地为主,分别占其总面积 40.19%和 32.90%;其次是高盖度草地、疏林地和中盖度草地,三者占该区总面积 25.56%。可见,草地和林地可以有效地减少水土流

失,保护土地资源,减轻土壤侵蚀。轻度水蚀区,以中盖度草地和灌木林地为主,分别占该区总面积 42.90%和 32.22%;其次是高盖度草地和有林地,二者占该区总面积 20.59%。中度水蚀区在研究区

成块状分布,以中盖度草地为主,占中度水蚀区总面积 47.27%;其次为灌木林地、有林地及疏林地,三者占该区总面积 38.68%。强度、极强及剧烈侵蚀主要发生在部分中盖度草地、疏林地以及旱地。随着侵蚀强度增大,林地和草地侵蚀所占面积比重呈下降趋势,旱地则随之增加,且强度水蚀所占面积最大,占旱地总面积 28.81%。

岷江上游土壤侵蚀除水力侵蚀之外,冻融侵蚀也占有较大比重,主要因为该研究区地形复杂,沟谷相间,地势海拔高,气温较低,易形成冻融侵蚀。微度冻融侵蚀主要分布在中盖度草地,占冻融侵蚀区总面积 80.26%;其次是高盖度草地,面积比重为 13.03%。轻度和中度冻融侵蚀都以中盖度草地为主,其次是低盖度草地,随着冻融侵蚀强度的增大,侵蚀面积也在增加。中盖度草地侵蚀面积由轻度冻融侵蚀的 1 269.63 km² 增加到中度冻融侵蚀的 1 435.51 km²,高盖度草地侵蚀面积由轻度的 254.32 km² 增加到中度的 290.65 km²。强度冻融侵蚀区面积较少,灌木林地、中盖度草地和低盖度草地侵蚀面积相差不大。

以上分析可知,对于水力侵蚀而言,随着土壤侵蚀强度的增强,旱地和中盖度草地所占比重大幅增加,而林地和高盖度草地侵蚀面积逐渐减少。在冻融侵蚀区,随着土壤侵蚀强度的增强,各土地利用类型面积变化不太明显,总体呈下降趋势,以微度为主,占冻融侵蚀区总面积 45%,轻度侵蚀较少。

3.4 土壤侵蚀与土地利用方式的耦合关系分析

研究土壤侵蚀与土地利用方式之间的耦合关系,对于研究土壤侵蚀发生机制,防治水土流失具有重要意义。从上述分析得知,土壤侵蚀与土地利用有很大的相关性,土地利用直接影响土壤侵蚀的类型与强度。总体上,岷江上游土壤侵蚀以微度为主,轻度和中强度次之,主要表现为水力侵蚀和冻融侵蚀。林地在丘陵、山地、平原等地区广泛分布,土壤侵蚀轻。在地势平坦植被密度高的地区,高强度土壤侵蚀面积显著减少,依次为有林地—灌木林地—疏林地。草地随植被盖度降低,微度土壤侵蚀面积逐渐减少,而轻度和中强度侵蚀面积增加。此外,草地盖度与气候、海拔有很大关系,随着海拔升高,草地盖度降低,冻融侵蚀显著增加,低盖度到中盖度草地冻融侵蚀面积由 967.56 km² 增加到 5 151.42 km²。耕地土壤侵蚀面积旱地 671.01 km² 远远高于水田 2.93 km²。这说明林地、草地对防止土壤侵蚀、有效保护土地资源具有重要作用,也证明了退耕还林还草对水土保持的重要意义。

从土壤侵蚀区域分布来看,土壤侵蚀中度以上的强度、极强及剧烈侵蚀区对应的土地利用类型以中盖度草地、疏林地以及旱地为主,分布在沿沟道的低山、丘陵与平原交界处,这是人类活动影响的结果。土壤侵蚀微度区土地利用类型以有林地、灌木林地和高盖度草地为主,分布在北部及其他低地、丘陵、平原地区。可见,土地植被覆盖状况是土壤侵蚀的重要影响因素之一,地表覆被能有效地拦截滞留水分,防止水土流失。冻融侵蚀区土地利用类型以中低盖度草地、疏林地以及积雪、湖泊水域为主。

综合上述分析得出,土地利用类型与土壤侵蚀的发育有着极强的关联,深刻揭示了不合理的开发利用土地资源和经营管理制度会给水土保持带来严重后果的客观规律。事实上,影响土壤侵蚀的因素除了土地利用之外还有很多其他因素,如土壤可蚀性、渗透率等土壤特性,以及降雨、坡度等因子。

4 结论与讨论

土地利用是人类长期以来在自然、经济、社会等条件综合作用下形成的特有的利用类型,受人类活动的直接影响。土地利用方式直接影响着土壤侵蚀的类型与强度,合理的土地利用方式可有效地控制土壤侵蚀。本文在 GIS 技术的支持下,通过研究土壤侵蚀与土地利用方式之间的耦合关系得出,中低盖度草地、疏林地以及旱地是岷江上游土壤侵蚀较严重的区域,特别是中低盖度草地,由于植被覆盖较少,土壤表层难以拦截水分,形成地表径流,造成水土流失。同时,不合理的土地利用方式对土壤性状也造成破坏,最终导致严重的水土流失。

岷江上游土壤侵蚀严重,分析其主要原因:一是对水土保持的认识还不够深,对土地资源的保护措施不到位。二是缺乏注重生态效应、经济效益、社会效益的综合效益,开发建设与保护不合理,对土地资源利用不合理。三是自然灾害频发,水灾、旱灾频繁发生,造成严重的水土流失,使生态环境进一步恶化。因此,要治理土壤侵蚀,首先要改善土地利用方式,合理规划土地利用类型。通过因地制宜,优化土地利用结构,削减土壤侵蚀动能、增强阻碍因素,减小土壤可蚀性,增加土壤渗透率等措施防治土壤侵蚀。其次,还应提高民众保护水土资源的意识,加强水土保持措施的实施,注重开发与保护的合理调控,从而更有效地保护和利用土地资源,促进社会经济的可持续发展。

- 研究[J]. 林业勘察设计, 2000(1), 51-51.
- [8] 孙洪运, 杨占军, 陈国华, 等. 落叶松等根径立木材积表的编制与应用[J]. 辽宁林业科技, 2002(4), 17-18.
- [9] 陈平留, 林杰, 黄健儿. 福建杉木、马尾松、阔叶树根径一元立木材积表的编制[J]. 林业勘察设计, 1988(2), 9-14.
- [10] 杨艳丽, 孙海东, 孙福林, 等. 大通地区主要树种胸径材积表改算根径材积表[J]. 青海大学学报: 自然科学版, 1999, 17(5): 29-30.
- [11] 光增云, 刘国伟, 赵义民, 等. 河南刺槐根径立木材积表编制的研究[J]. 河南农业大学学报, 1998, 32(1): 60-67.
- [12] 卢昌泰, 黄山如, 王利蓉, 等. 云南松根径一元材积表的编制[J]. 林业资源管理, 1992(3), 49-51.
- [13] 卢昌泰, 谭经正, 冯永林. 都江堰杉木、柳杉、水杉根径一元材积表的编制[J]. 中南林业调查规划, 1994, 13(2), 6-9.
- [14] 卢昌泰. 四川的云南松根径胸径相关关系及其应用研究[J]. 四川林业科技, 2004, 25(2), 46-49.
- [15] 肖纪浩, 周士杰, 钟志岩, 等. 辽宁省根径材积表的编制[J]. 林业资源管理, 2003(5), 26-28.
- [16] DEEPAK B, KHATRY C, GAR W F. Estimating diameter at breast height and basal diameter of trees from stump measurements in Nepals lower temperate broad-leaved forests[J]. Forest Ecology and Management, 1996, 74-84.
- [17] 李仁昌. 高产杉木林分合理密度的研究[J]. 福建林学院学报, 1995, 15(3): 272-276.
- [18] 林成来, 洪伟, 吴成祺, 等. 闽东柳杉人工林合理经营密度的研究[J]. 江西农业大学学报, 1999, 21(3): 407-409.
- [19] 沈作奎. 日本柳杉合理经营密度的研究[J]. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 2004, 22(4): 57-59.
- [20] 许绍远. 浙江省杉木林抚育间伐研究[C]//中国林学会. 造林论文集. 北京: 中国林业出版社, 1985: 81-88.
- [21] 郑勇平. 杉木人工林树冠最大重叠系数及适宜经营密度的研究[J]. 浙江林学院学报, 1991, 8(3): 300-306.
- [22] 《中国森林》编辑委员会编. 中国森林第2卷: 针叶林[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998: 12.
- [23] 张俊, 孙玉军, 许俊利. 东北地区兴安落叶松人工林生长过程研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6), 179-181.
- [24] 马华文, 许翠清, 李海朝. 立地条件对长白落叶松光合特性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(8): 4-7.
- [25] 王洪君, 宫芳, 郑宝仁, 等. 落叶松人工林的土壤理化性质[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(3): 75-79.
- [26] 赵晓焱, 王传宽, 霍宏. 兴安落叶松(*Larix gmelinii*)光合能力及相关因子的种源差异[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3798-3806.
- [27] 朱磊, 王庆成, 王永清. 长白落叶松工业用材林经营模拟研究[J]. 林业科技, 2005, 30(3): 20-24.
- [28] 张成程, 李凤日, 赵颖慧. 落叶松人工林空间结构优化的探讨[J]. 植物研究, 2008, 28(5): 632-637.
- [29] 孙玉军, 张俊, 韩爱惠, 等. 兴安落叶松(*Larix gmelini*)幼中龄林的生物量与碳汇功能[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1756-1761.
- [30] 许安芳, 吴隆高. 杉木地理种源胸径与冠幅相关检验及其应用[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(2): 131-137.
- [31] 邓宝忠. 红松阔叶人工天然混交林主要树种胸径与冠幅的相关分析[J]. 防护林科技, 2003(4), 19-20.
- [32] 王迪生, 宋新民. 华北落叶松人工林 CCF 特性的探讨[J]. 河北林学院学报, 1995, 10(1): 1-6.
- [33] 卢昌泰, 李吉跃. 马尾松胸径与根径和冠径的关系研究[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(1): 58-63.
- [34] 郑朝晖, 李宏, 罗明灿, 等. 群众杨合理经营密度的探讨[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(1): 39-42.

(上接第165页)

参考文献:

- [1] 史志华. 基于 GIS 和 RS 的小流域景观格局变化及其土壤侵蚀响应[D]. 武汉: 华中农业大学, 2003, 11-12.
- [2] 杨凤亭, 刘纪远, 庄大方, 等. 中国东南红壤丘陵区土地利用变化的生态环境效应研究进展[J]. 地理科学进展, 2004, 23(5): 43-55.
- [3] 刘阳, 王锡彪, 彭泽州. 由降雨侵蚀引起的山坡面水土流失预测的数学模型[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2002, 32(2): 174-176.
- [4] 柴宗新, 范建容. 长江上游未来 50 年水土流失变化预测[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 15-19.
- [5] 郎南军, 郑科, 温绍龙, 等. 金沙江流域高原山地土壤侵蚀影响因素的相关分析[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(3): 39-44.
- [6] 刘权, 王忠静. GIS 支持下辽河中下游流域不同土地利用的土壤侵蚀变化分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 105-107.
- [7] 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.
- [8] 李爱农, 周万村, 江晓波. 遥感和 GIS 技术支持下的岷江上游 15 年土地利用/土地覆被动态变化研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 153-156.
- [9] 李爱农, 周万村, 江晓波, 等. 土地利用与土地覆被时空动态变化分析—以岷江上游地区为例[J]. 地球信息科学, 2003, 2(6): 100-104.
- [10] 张建平, 樊宏, 叶延琼. 岷江上游土壤侵蚀及其防治对策[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 19-22.
- [11] 中华人民共和国水利部, 中华人民共和国行业标准. 土壤侵蚀分类分级标准 SL190—96(B)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 2-16.
- [12] 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.
- [13] 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.