

# 山东省土壤侵蚀敏感性分析<sup>\*</sup>

杨永峰<sup>1,4</sup>, 王百田<sup>1</sup>, 孙希华<sup>2</sup>, 刘岩<sup>3</sup>

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 山东师范大学 人口·资源与环境学院, 济南 250013; 3. 南水北调东线山东干线公司, 济南 250013; 4. 山东省水利厅, 济南 250013)

**摘要:**土壤侵蚀敏感性分析是生态敏感性评价的一项重要内容。基于 ArcGIS 软件平台,采用综合指数法对山东省土壤侵蚀敏感性状况进行了综合评价。研究显示,山东省存在不同程度的土壤侵蚀敏感性,其中中度及中度敏感以上区域占全省总面积的 25.21%,这些地区易于发生土壤侵蚀;极敏感和高度敏感区主要分布在鲁中南山区、胶东低山丘陵区 and 黄泛平原区。进一步指出,加强植被保护、发展生态农业是推进生态敏感区环境保护的重要手段。

**关键词:**山东省; 土壤侵蚀敏感性; 生态敏感性评价; 土壤侵蚀敏感性综合指数

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)03-0043-05

## Sensitivity Assessment of Soil Erosion in Shandong Province

YANG Yong-feng<sup>1,4</sup>, WANG Bai-tian<sup>1</sup>, SUN Xi-hua<sup>2</sup>, LIU Yan<sup>3</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. College of Population, Resource and Environment, Shandong Normal University, Ji'nan 250013, China; 3. Shandong Trunk Line Corporation of South-to-North Water Diversion Eastern Line, Ji'nan 250013, China; 4. Shandong Water Resources Bureau, Ji'nan 250013, China)

**Abstract:** Sensitivity analysis of soil erosion is one of significant contents that relate to ecological susceptible assessment. On the basis of ArcGIS software, it utilizes the method of comprehensive index to completely appraise the status of soil erosion sensitivity in Shandong province. There are various kinds of sensitivities of soil erosion in regions of Shandong province, within them the regions that are moderate and high sensitivity of soil erosion account for 25.21% of total area of whole province, these regions are easily subject to produce soil and water loss; extreme and high sensitivity of soil erosion is mainly distributed in these regions such as hills of Luzhong-South, highlands of Jiaodong and Yellow Plains. As a result, it suggests that strengthening the protection of vegetation and developing ecological agriculture should be the significant measurement that is responsible for environmental protection in ecological susceptible regions of Shandong province.

**Key words:** Shandong province; the sensitivity of soil erosion; ecological sensitivity assessment; comprehensive index of soil erosion sensitivity

山东省地处中国东部、黄河下游,横跨黄、淮、海三大流域,总面积 15.7 万 km<sup>2</sup>。全省有水土流失面积 3.6 万 km<sup>2</sup>,其中水蚀面积占 90.12%,主要分布在鲁中南中低山丘陵区 and 胶东半岛丘陵区;风蚀面积占 9.88%,主要分布在鲁西北黄泛平原区。严重的水土流失已成为制约山东省社会发展的重要因素之一。由于土壤侵蚀是生态环境问题之一,土

壤侵蚀敏感性分析已成为生态敏感性评价中的一个重要内容。土壤侵蚀敏感性,是指在自然状况下发生土壤侵蚀的可能性大小。土壤侵蚀受多种因素影响和制约,不仅包括气候、土壤、植被等自然因素,也包括社会经济等人为因素。从影响土壤侵蚀的多个因子入手,突破单因子局限性,能真实有效地反映土壤侵蚀的敏感程度。

<sup>\*</sup> 收稿日期:2008-10-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40771077)

作者简介:杨永峰(1976-),男,甘肃合水人,工程师,在读博士,主要从事水土保持工作。E-mail:yyfeng1976@126.com

对山东省土壤侵蚀敏感性进行分析,可以识别容易形成土壤侵蚀的区域,评价土壤侵蚀对人类活动的敏感程度;根据区域土壤侵蚀的形成机制,明确可能发生的土壤侵蚀类型、范围,可为政府部门宏观决策提供科学依据,从而为落实科学发展观和实现区域经济社会和谐发展提供有力支撑。

1 土壤侵蚀敏感性评价指标与分级标准

1.1 土壤侵蚀敏感性评价指标

区域土壤侵蚀受到自然和人为因素影响,其中自然因素包括气候、水文、地形地貌、土壤和植被等,

人为因素包括土地利用方式和水土保持措施等农业措施。根据美国土壤侵蚀通用方程 USLE 的 6 个变量指标,将土壤侵蚀敏感性评价影响指标定为:降雨侵蚀力( $R$ )、土壤可蚀性( $K$ )、坡长坡度( $LS$ )、植被覆盖( $C$ )等影响土壤侵蚀的因子<sup>[1]</sup>。由于其中农业措施( $P$ )是与人类活动密切相关的因子,与生态系统的敏感性无太大关系,故不能作为评价指标。

1.2 土壤侵蚀敏感性评价因子分级标准

在参照国内专家对土壤侵蚀敏感性评价的研究成果的基础上<sup>[2-3]</sup>,针对山东省的自然环境特征,确定主要因子评价指标的敏感性等级和分级标准。

表 1 土壤侵蚀敏感性评价因子和分级标准

级别		不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
坡度	分级	0°~3°	3°~7°	7°~13°	13°~22°	>22°
	得分	2	4	6	8	10
土壤可蚀性	分级	0.16	0.16~0.28	0.28~0.40	0.40~0.51	>0.51
	得分	2	4	6	8	10
降雨侵蚀力	分级	240	240~270	270~305	305~335	>335
	得分	2	4	6	8	10
植被覆盖指数	分级	20	20~40	40~60	60~80	>80
	得分	1	3	6	8	10

\*注:多年平均降雨侵蚀力单位为:7.7×10<sup>-5</sup> t/(h·a)

2 土壤侵蚀敏感性分析方法

2.1 实验材料

土壤侵蚀敏感性分析需要做好基础数据获取和硬件平台及软件基础配置等工作。专题图件资料包括山东省行政区划图、土地利用图、降雨侵蚀力图、DEM、土壤类型图、土壤侵蚀强度图以及土壤质地图与土壤可蚀性分级对照表等。软件主要包括地理信息系统软件 ArcGIS 9.0,遥感图像处理软件 Erdas Imagine 8.5 以及 Office 办公软件。

2.2 分析方法

为保证不同专题要素图层间运算时具有良好的空间重合性,需要在 ArcGIS 支持下,对各个土壤侵蚀敏感性评价因子图进行坐标系和投影系统的统一。本研究采用的投影系统为 Albers 等面积双纬线割圆锥投影,统一的中央经线为 105°E,双标准纬线分别为 25°N 和 47°N,使用 KRASOVSKY 椭球体,起算点为赤道 0°。另外,考虑到 GIS 的空间分析功能,采用栅格数据结构<sup>[4]</sup>,实现各种代数和逻辑运算,故需要利用 ArcGIS 中的 Polygrid、Spline 等转换、内插命令将矢量图转换为 Grid 格式,像元大小统一为 200 m×200 m。

土壤侵蚀敏感性是受降雨侵蚀力、土壤可蚀性、

坡长坡度、植被覆盖多个因子综合影响的,为此,对土壤侵蚀敏感性的计算采用综合评价方法,采用土壤侵蚀敏感性综合指数对山东省土壤侵蚀敏感性状况进行评价,并利用 ArcGIS 软件绘制土壤侵蚀敏感性分布图<sup>[5]</sup>。

$$SS_j = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^4 P_{ij}} \tag{1}$$

式中:SS<sub>j</sub>——土壤侵蚀敏感性综合指数;P<sub>ij</sub>——评价因子;j——评价单元;i——第 i 个评价因子。

3 土壤侵蚀敏感性分析

在具体运算过程中,先采用地理信息系统 ArcGIS 中的 Arcedit 模块建立起山东省降雨侵蚀力、DEM、土壤可蚀性、植被覆盖度等因子的图形库和属性库,并依据各因子分级标准进行单因子敏感性评价。随后,利用 ArcGIS 中 Grid 模块的图形空间叠加和运算功能,在单因子敏感性评价的基础上进行土壤侵蚀敏感性综合分析。

3.1 单因子敏感性分析

3.1.1 降雨侵蚀力对土壤侵蚀的敏感性 在 ArcGIS 中对降雨侵蚀力分布图进行分级并重新赋值,结合土壤侵蚀对降雨侵蚀力的敏感性分布图和行政区划图,分析发现,山东省土壤侵蚀敏感性分布比较

集中,且大部分为不敏感、中度敏感区和轻度敏感区,高度敏感区和极敏感区只有很少一部分。极敏感性区域主要分布在烟台市牟平区、青岛市崂山区、临沂市费县以及泰安市泰山区;高度敏感性区域主要分布在烟台牟平区、日照东港区的中西部、五莲县东部;中度敏感性区主要分布在山东省东部和南部地区。轻度敏感区是山东省的主要类型,从地域分布看,该类型自东北向西南横贯于山东省的东部、中部、南部,两侧分别与不敏感和中度敏感区相邻,分布集中,内部无其它类型的斑块镶嵌。总的来看,轻度敏感及轻度敏感以上的面积占山东省总面积的 49.11%,占山东省面积的一半,因此,山东省受降雨侵蚀影响的程度较大(图 1)。

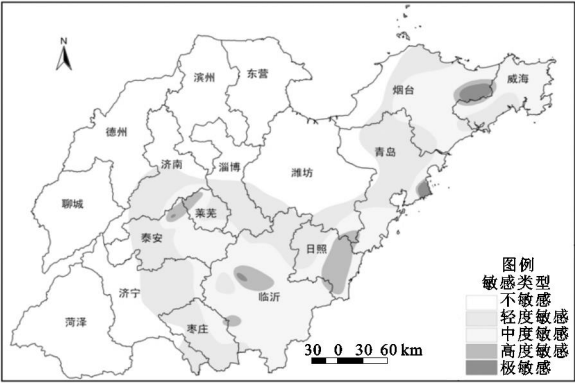


图 1 降雨侵蚀力对土壤侵蚀的敏感性分布图

3.1.2 土壤可蚀性对土壤侵蚀的敏感性 根据土壤可蚀性对土壤侵蚀的敏感性分布图和分级标准,以及山东省的 17 地市图,得到分地市土壤质地敏感程度统计表。山东省土壤有 96.86%的面积对土壤侵蚀存在不同程度的敏感性,其敏感程度以中度敏感为主,占山东省面积的 40.51%;其次为高度敏感、轻度敏感和极敏感,占山东省面积的 31.70%,18.07%,3.14%。其中,中度敏感及中度以上敏感程度的面积占山东省总面积的 75.35%。由此可见,山东省土壤产生土壤侵蚀的几率较大,即敏感性较大,有利于土壤侵蚀的发生(图 2)。

3.1.3 坡度对土壤侵蚀的敏感性 根据坡度的土壤侵蚀敏感性分布图和分级标准,山东省坡度敏感性以不敏感为主,轻度敏感次之。不敏感区的面积为 124 038.04 km<sup>2</sup>,占山东省总面积的 79.03%,主要分布在山东省北部和西南部地区,主要地形为山前倾斜平原和黄河冲积平原以及洼地。轻度敏感地区面积为 16 820.72 m<sup>2</sup>,占山东省总面积的 10.72%,主要是山地丘陵的山麓地带。中度和高度敏感地区主要在山地丘陵的山腰部分,这部分地区是极容易发生土壤侵蚀的地区。极敏感地区主要分

布在山地丘陵的偏上部,占山东省总面积的 0.97%,也是土壤侵蚀较严重的部位(图 3)。

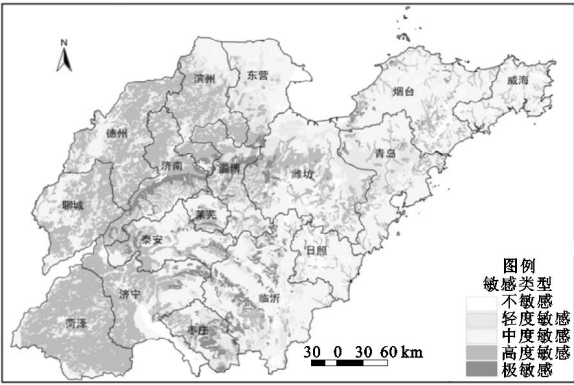


图 2 土壤可蚀性对土壤侵蚀的敏感性分布图

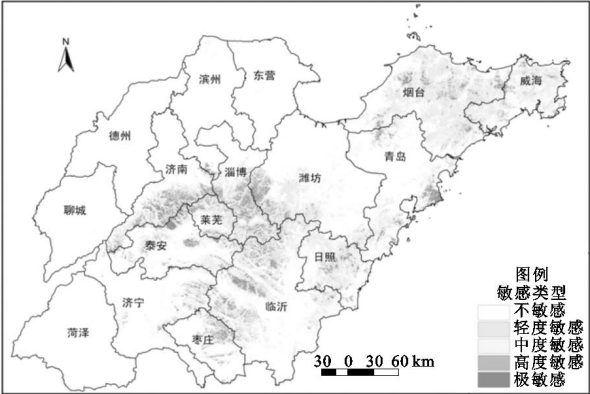


图 3 坡度对土壤侵蚀的敏感性分布图

3.1.4 植被覆盖对土壤侵蚀的敏感性 通过计算,得到以植被覆盖指数为指标的土壤侵蚀敏感性图及全省统计数据。山东省植被覆盖对土壤侵蚀的敏感性是以不敏感为主,轻度敏感次之。不敏感的面积 为 86 671.64 km<sup>2</sup>,占山东省总面积的 55.23%;轻度敏感面积为 46 811.48 km<sup>2</sup>,占山东省总面积的 29.83%。轻度敏感性以上的面积为 70 249.56 km<sup>2</sup>,占山东省总面积的 44.77%(图 4)。

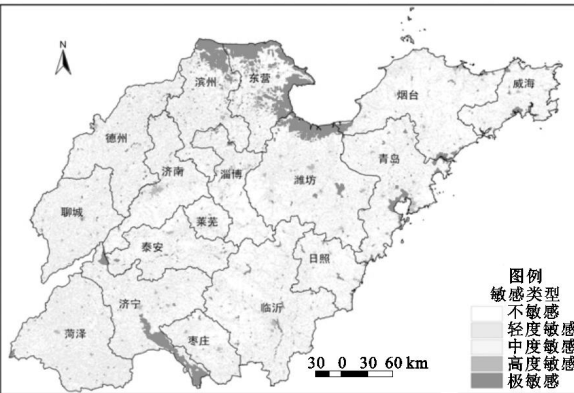


图 4 植被覆盖对土壤侵蚀的敏感性分布图

3.2 土壤侵蚀敏感性综合分析

基于栅格单元的山东省土壤侵蚀敏感性评价的

具体过程为:在 ArcGIS 的 Grid 模块中对已经赋值的评价因子按照公式(1)进行代数运算,可得到山东省土壤侵蚀敏感性综合指数图。为了便于分析,按土壤侵蚀敏感性综合指数的高低,将山东省土壤侵蚀敏感性等级分为 5 级(表 2)。

表 2 土壤侵蚀敏感性综合指数分级表

敏感性等级	敏感性评价	土壤侵蚀敏感性综合指数	面积/ km <sup>2</sup>	占总 面积/%
1	不敏感	<3.0	75121.31	47.88
2	轻度敏感	3~3.5	42226.67	26.91
3	中度敏感	3.5~4.0	24195.57	15.42
4	高度敏感	4.0~4.5	8809.11	5.61
5	极敏感	>4.5	6547.33	4.17

从土壤侵蚀敏感性综合指数分析,山东省不敏感性面积最大,为 75 121.31 km<sup>2</sup>,占山东省总面积的 47.88%;其次为轻度敏感,占山东省总面积的 26.91%。轻度及轻度敏感以上面积占总面积的 52.12%,说明山东省存在不同程度的土壤侵蚀敏感性。中度及中度敏感以上的面积为 39 552.02 km<sup>2</sup>,占山东省总面积的 25.21%(图 5)。

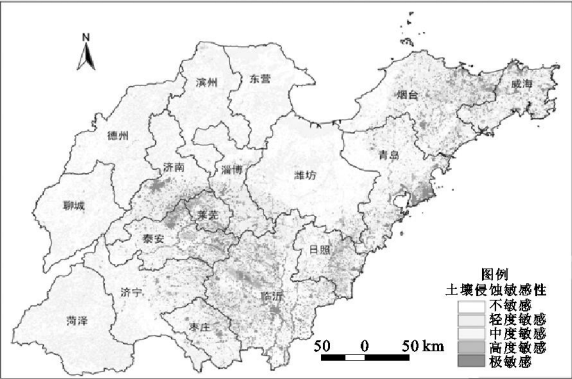


图 5 山东省土壤侵蚀敏感性综合指数分布图

3.2.1 各地市土壤侵蚀敏感性分析 利用 ArcGIS 的交叉分类命令得到各地市土壤侵蚀敏感性结果(表 3)。利用该表可以对不同土壤侵蚀敏感程度在各地市中的分布状况进行分析。山东省土壤侵蚀不敏感面积是最大的类型,面积为 75 121.31 km<sup>2</sup>,占山东省面积的 47.88%,以潍坊、德州、济宁和菏泽面积最大;轻度敏感面积为 42 226.67 km<sup>2</sup>,占总面积的 26.91%,主要分布在烟台、德州、潍坊、临沂、济宁和菏泽等地市;中度敏感程度面积为 24 195.57 km<sup>2</sup>,占总面积的 15.42%,主要分布在烟台、青岛、临沂、泰安、济南、威海等地,特别是临沂市该类型面积 1 675.68 km<sup>2</sup>,占山东省该种类型面积的 28.71%;高度敏感性面积为 8 809.11 km<sup>2</sup>,占总面积的 5.61%,

主要分布在烟台、青岛、临沂、泰安、日照和济南;极敏感面积为 6 547.33 km<sup>2</sup>,占总面积的 4.17%,分布在烟台、威海、济南、泰安、临沂和日照等地。

综上所述,山东省土壤侵蚀敏感性以不敏感及轻度敏感程度为主,其中又以不敏感程度面积最大。从各地市轻度及轻度以上敏感性面积占该地市总面积比重来看,莱芜市比重最高,为 55.94%;临沂市次之,为 41.31%;泰安市第三,为 40.66%;日照市第四,为 39.11%;其他地市的比重一般都在 16%~36%。

3.2.2 主要构造地貌类型与土壤侵蚀敏感性分析 把山东构造地貌类型图与土壤侵蚀敏感性图进行叠加分析,从地貌构造区来看,鲁东构造剥蚀低山丘陵区平均土壤侵蚀敏感性综合指数最高,为 3.37;其次为鲁中南侵蚀构造中低山丘陵区,平均值为 3.27;鲁西北堆积平原区最低,为 2.84。从土壤侵蚀敏感性综合指数最大值来看,沂山-汶峰山丘陵段最高,为 8.32;其次为牙山-艾山中低山段,为 7.87;白云山低山丘陵、黄河河口三角洲亚区、莱州湾冲积海积平原段最低,为 4.68。

表 3 山东省主要地貌构造类型的土壤侵蚀敏感性综合指数

编码	地貌构造区名称	面积/ km <sup>2</sup>	最小值	最大值	平均值
	鲁东构造剥蚀低山丘陵区	40731.75	1.68	8.32	3.37
	鲁中南侵蚀构造中低山丘陵区	45454.48	1.68	7.87	3.27
	鲁西北堆积平原区	70713.91	1.68	6.62	2.84

4 土壤侵蚀敏感性与土壤侵蚀现状分析

利用 ArcGIS 交叉分类命令将 2000 年山东省土壤侵蚀强度图与土壤侵蚀敏感性图进行计算,得到土壤侵蚀敏感性与土壤侵蚀强度交叉分类表(表 4)。在该表的基础上,对不同敏感程度发生不同强度土壤侵蚀的概率进行统计,得到表 5。

由表 4 可以发现土壤侵蚀敏感性与 2000 年土壤侵蚀强度具有一定的一致性。一般而言,土壤侵蚀敏感性高的地区,发生土壤侵蚀的概率大,土壤侵蚀强度越高。土壤侵蚀敏感性低的地区,发生土壤侵蚀的概率相对就小。此外,土壤侵蚀受自然因素影响较大,坡度、土壤质地、降雨侵蚀力都是自然因素,而植被覆盖状况受人类活动的影响很大,当局部地区的植被遭到破坏,必将引起该地区土壤侵蚀的加重,因此,保护和恢复植被破坏地区的植被对于防治土壤侵蚀具有重要的作用。

表 4 2000 年山东省土壤侵蚀强度与土壤侵蚀敏感性面积关系								km <sup>2</sup>
敏感类型	水 蚀						风蚀	工程侵蚀
	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈	轻度	
不敏感	66144.95	1574.24	2998.92	2099.04	360.76	37.80	1898.56	7.04
轻度敏感	32688.39	2216.48	3463.32	2368.84	564.28	65.16	853.08	7.12
中度敏感	18309.85	1535.68	2159.24	1346.08	404.32	44.04	390.84	5.52
高度敏感	5638.63	1025.44	1191.68	659.40	202.20	26.24	60.76	4.76
极敏感	4693.53	427.96	778.92	421.76	134.40	32.84	51.20	6.72
合 计	127475.35	6779.80	10592.08	6895.12	1665.96	206.08	3254.44	31.16

表 5 山东省不同土壤侵蚀敏感类型发生土壤侵蚀的概率										%
敏感类型	侵蚀强度类型									工程侵蚀
	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈	极强度及剧烈	强度及以上	中度及以上	
不敏感	88.05	4.62	3.99	2.79	0.48	0.05	0.53	3.32	7.32	0.01
轻度敏感	77.41	7.27	8.20	5.61	1.34	0.15	1.49	7.10	15.30	0.02
中度敏感	75.67	7.96	8.92	5.56	1.67	0.18	1.85	7.42	16.34	0.02
高度敏感	64.01	12.33	13.53	7.49	2.30	0.30	2.59	10.08	23.61	0.05
极敏感	71.69	7.32	11.90	6.44	2.05	0.50	2.55	9.00	20.89	0.10

5 结 论

采用遥感和 GIS 相结合技术 ,显示了以像元数据为基础的定量计算方法的可行性。同传统方法相比 ,其突出特点为 :综合评价模型包容了土壤侵蚀的 4 个主导因素 ,人为定级的主观影响较小 ;遥感和 GIS 技术相结合 ,确保了方法的科学性和可操作性 ,评价结果克服了以往调查结果与治理规划相脱节的现象。

结果显示 ,山东省存在不同程度的土壤侵蚀敏感性。其中以不敏感及轻度敏感程度为主 ,轻度敏感占全省总面积的 26.91 % ;中度及中度敏感以上占总面积的 25.21 %。全省土壤侵蚀极敏感和高度敏感地区 ,主要分布在鲁中南山区、胶东低山丘陵区 and 黄泛平原区。从全省 17 市轻度及轻度以上敏感性面积占该市总面积比重上来看 ,莱芜市比重最高 ,

为 55.94 % ,其它市的比重一般在 16 % ~ 36 % 之间。加强植被建设和发展生态农业是这些地区有效防止水土流失和促进态环境保护的重要手段。

参考文献 :

[1] 国务院西部地区开发领导小组办公室 ,国家环境保护总局 . 生态功能区划暂行规程 [S]. 2002.

[2] 莫斌 ,朱波 ,王玉宽 ,等 . 重庆市土壤侵蚀敏感性评价 [J]. 水土保持通报 ,2004 ,24(5) :45-48.

[3] 孙秀美 ,孙希华 ,冯军华 . 沂蒙山区土壤侵蚀敏感性评价 [J]. 水土保持通报 ,2007 ,27(3) :84-87.

[4] 杨广斌 ,李亦秋 ,安裕伦 . 基于网格数据的贵州土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异 [J]. 中国岩溶 ,2006 ,25(1) :73-78.

[5] 汤国安 ,杨昕 . ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程 [M]. 北京 :科学出版社 ,2006.

(上接第 42 页)

参考文献 :

[1] 赵其国 . 我国红壤的退化问题 [J]. 土壤 ,1995 ,27(6) :281-286.

[2] 莫江明 ,Brown S ,彭少麟 ,等 . 林下层植物在退化马尾松林恢复初期养分循环中的作用 [J]. 生态学报 ,2002 ,22(9) :1407-1413.

[3] 孙波 ,赵其国 . 红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法 [J]. 地理科学进展 ,1999 ,18(2) :118-125.

[4] 卢程隆 ,杨人群 . 福建长汀河田土壤侵蚀的研究 ( ) [J]. 福建农学院学报 ,1981 ,10(2) :39-48.

[5] 杨学震 ,钟炳林 ,谢小东 ,等 . 丘陵红壤的土壤侵蚀与治理 [M]. 北京 :中国农业出版社 ,2005 :87-95.

[6] 王维明 ,陈明华 ,林敬兰 ,等 . 长汀县水土流失动态变化及防治对策研究 [J]. 水土保持通报 ,2005 ,25(4) :73-77.

[7] 杜森 ,高祥照 . 土壤化学分析技术规范 [M]. 北京 :中国农业出版社 ,2006 :65-68.

[8] 姚胜蕊 ,薛炳烨 . 多年连续覆草对果园土壤的综合效应研究 [J]. 落叶果树 ,1998(3) :1-2.

[9] 孙波 ,赵其国 . 土壤质量与持续环境 : . 土壤质量评价的生物学指标 [J]. 土壤 ,1997 ,29(5) :225-234.

[10] Fu B J ,Chen L D ,Ma K M . The effect of land use change on the regional environmental in the Yangguangou catchment in the Loess Plateau of China [J]. Acta Geographica Sinica ,1999 ,54(3) :241-246.

[11] 张辉 . 土壤环境学 [M]. 北京 :化学工业出版社 ,2006 :38-39.