

鄂尔多斯东胜地区不同生态功能区的土壤侵蚀敏感性

王再岚¹, 李政海^{2,*}, 马 中¹, 智颖飙^{3,4}, 张保卫⁴, 安树青³, 王中生³,
Komada Emmy¹, 刘玉虹³, 韩 雪⁴

(1. 中国人民大学环境学院, 北京 100872; 2. 大连民族学院, 大连 116600; 3. 南京大学生命科学学院, 南京 210093;
4. 安徽大学生命科学学院, 合肥 230039)

摘要:利用 ETM 影像数据和 GIS 技术, 对鄂尔多斯东胜地区进行生态功能分区。以水土流失通用方程 (universal soil loss equation, USLE) 理论为基础, 并依据土壤侵蚀敏感性驱动力的相似性和差异性, 分析了降水、土壤质地、地形和地表覆盖因子对该区域不同生态功能分区土壤侵蚀与水土流失敏感性的影响。研究表明: 典型草原丘陵区土壤侵蚀敏感性指数 SS_i 为 4.2, 典型草原平原区为 4.0, 典型草原沙化区为 4.6, 荒漠草原区土壤侵蚀敏感性指数为 5.0; 4 个生态功能区的土地沙漠化都属于土地沙漠化高度敏感区, 其由高到低的排序为荒漠草原区 > 典型草原沙化区 = 典型草原平原区 > 典型草原丘陵区; 就土壤侵蚀程度而言, 典型草原平原区属于土壤侵蚀轻度敏感区, 荒漠草原区、典型草原沙化区、典型草原丘陵区属于土壤侵蚀中度敏感区。将其土壤侵蚀化程度由高到低排序: 荒漠草原区 > 典型草原沙化区 > 典型草原丘陵区 > 典型草原平原区; 就土壤盐渍化而言, 典型草原丘陵区属于土地盐渍化不敏感区, 其它 3 个区属于土地盐渍化轻度敏感区。在综合评价其土壤侵蚀敏感性区域差异基础上, 阐述了鄂尔多斯东胜地区水土流失敏感性区域土地利用格局的调整与优化取向。

关键词:敏感性; 土壤侵蚀; 区域分异; 区划; 生态功能

文章编号: 1000-0933(2009)01-0484-08 中图分类号: Q143, Q149, S159.2 文献标识码: A

Area division of sensitivity to water-caused soil loss in ecologically functioning areas of Dongsheng, Erdos

WANG Zai-Lan¹, LI Zheng-Hai^{2,*}, MA Zhong¹, ZHI Ying-Biao^{3,4}, ZHANG Bao-Wei⁴, AN Shu-Qing³, WANG Zhong-Sheng³, Komada Emmy¹, LIU Yu-Hong³, HAN Xue⁴

1 School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

2 Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China

3 College of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

4 School of Life Science, Anhui University, Hefei 230039, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0484 ~ 0491.

Abstract: Based on an ETM, which utilized remote sensing software and geographical information systems software to construct a number of channel compositions, and by employing geometry correcting technology with the Universal Soil Loss Equation (USLE) as a pair of theory foundations, we used map algebra methods to assess the sensitivity of soil erosion in ecologically functional areas in Dongsheng, Erdos. Within this region were typical grassland hills areas, typical grassland districts, typical grassland desertification areas, desert grassland districts and urban residential districts. We classified the influence of precipitation, soil, topography and vegetation upon factors of soil erosion into five different degrees. As a result, we concluded research with an assessment map of each factor. We also drew integrated assessment maps of the

基金项目:国家自然科学基金资助项目 (30800116, 30670151); 大连民族学院人才引进启动资金资助项目 (200563203); 中国博士后基金资助项目 (20060400551)

收稿日期: 2007-07-13; **修订日期:** 2008-08-26

致谢: 内蒙古大学刘钟龄先生对本文给予帮助, 特此致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: li-zhh@263.net

sensitivity of soil erosion by overlapping these functions with ArcGIS. Through these assessments, clear possibilities for light, area coverage and spatial distribution patterns in soil erosion sensitivity came to light. Steppe hilly area of soil erosion sensitivity index SS_j was 4.2, typical steppe plain area was 4.0, typical grassland desertification area was 4.6, desert grassland area of soil erosion sensitivity index was 5.0; This report also assesses the effective countermeasures controlling said soil erosion. The result will provide an important support base for partition management of ecological environments, the sustainable use of land resources, effective control of soil erosion, which will be of wide interest in the future.

Key Words: sensitivity; soil loss; spatial heterogeneity; regionalization; eco-function

土壤侵蚀敏感性评价是为了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^[1]。土壤侵蚀表现为土壤或其它地面组成物质在外营力作用下,被剥蚀、破坏、分散、分离、搬运和沉积,包括水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀、冻融侵蚀及复合侵蚀 5 个侵蚀类型^[2]。

目前国内外一些学者对土壤侵蚀和生产力影响的结构和功能等不同领域开展了深入研究,并且取得了显著的成果^[3~6],研究方法也已经从定性描述转向了定量分析^[7~16]。

内蒙古东胜地区是鄂尔多斯高原的重要组成部分,是具有特殊地理景观的生态过度地带,也是我国重要的能源和化工基地。地处国家重点治理的黄河流域,境内梁峁起伏,沟壑纵横,总面积 2133.80 km²,水土流失面积占总面积的 96%。年侵蚀模数平均为 7500 ~ 10000 t·km⁻²,年输沙量为 1520 × 10⁴t^[7],属于严重水土流失区。林草覆盖度不足 15%。由于受风沙、干旱、水土流失等自然条件制约,农林牧业生产的整体水平相对低下,农业产量低而不稳。坡耕地是本地区农业生产经营的主体,自然表土层受水力、风力侵蚀破坏严重,农民反复在薄层黄土母质上耕种,土壤肥力和单产水平日趋下降,目前平均单产为 750 kg·hm⁻²左右。部分地区由于生态环境的恶化,区域生态安全受到严重威胁。

以往的研究主要集中于对区域植被类型、水土流水和以及景观格局的定性研究^[6,12],因此,对东胜地区这一生态过渡带的土壤侵蚀敏感性进行定量研究,不仅为生态脆弱区土壤侵蚀的有效防治提供理论指导,同时为西北我国地区水土流失预测预报与动态监测提供借鉴。

1 研究方法

1.1 研究区概况

鄂尔多斯东胜地区位于内蒙古自治区西南部,鄂尔多斯高原中部的隆起地带(109°08'20" ~ 110°23'00" E, 39°00'10" ~ 39°58'18" N),东西长 106 km,南北宽 35 km,总面积 2133.8 km²。极端海拔最高 1615 m,最低 1269 m。西部地处毛乌素沙地和库布齐沙漠的搭界地带,为风蚀地貌。其间沙、梁、滩、壕、沟相间分布,呈波浪状;东部丘陵、沟谷发育,沟壑密度大,呈树枝状,侵蚀切割严重,土地支离破碎。属于典型的丘陵沟壑山区,地下水资源匮乏。裸露地表的基岩以白垩系灰绿色和红色沙岩为主,抗风蚀能力差,水土流失严重,是入黄河泥沙的主要来源地之一。

该区域属于大陆性气候,大陆度在 65.7 ~ 70.3。年平均气温在 5.2 ~ 6.0 °C,有效积温 2499.0 ~ 2580.3 °C。年平均降水量为 374 mm,降水趋势是西部少于东部。湿润系数东部为 0.31,西部区域仅为 0.25,属典型的半干旱气候区。东胜地区的地下水是在一个巨厚的中生带地层,呈向斜盆地,属于深层阻水构造,深层地下水逆地形通过东胜梁向南运动,排泄给伊金霍洛旗;地表水、浅层地下水则以东西向分布的东胜梁为分水岭,分别向南北排泄。地下水较为贫乏。土壤主要属栗钙土和粗骨土地带,占分布面积的 77.31%。由于成母土质、地形地势及气候条件、水文地质等因素复杂,因而形成土壤类型较多。共有 5 个土类、10 个亚类、22 个土属、47 个土种(表 1)^[17]。

东胜地区土壤养分状况受自然条件、人为因素及耕作和施肥措施等综合影响。从总体看,全地区土壤有机质平均含量为 7.455 g·kg⁻¹,全 N 平均含量为 0.398 g·kg⁻¹,二者含量较低,远不能满足植物生长发育的需

要。速效 N 平均含量 $38.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效 P 平均含量 $4.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效 K 平均含量 $82.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 相对而言, N、P 严重短缺而 K 较为充足^[17]。

表 1 土壤类型与分布^[17]

Table 1 Soil classification and distributed area

土类 Soil classification	面积 (hm^2) Area	占土壤面积比例 (%) Percentage	分布 Distribution
栗钙土 Castanozems	66575.7	32.63	全地区各镇
粗骨土 Skeletal soils	91187.3	44.68	遍布各镇
风沙土 Aeolian soils	26408.4	12.94	西四镇及布镇
潮土 Fluvo-aquic soils	19830.0	9.72	沟川、河滩及低洼地
沼泽土 Bog soils	59.3	0.03	布日都镇的灶火壕

东胜地区原始植被为干草原类型, 但破坏严重。在风蚀地区, 多以沙生植被为主, 如: 油蒿 (*Artemisia ordosica*)、猪毛菜 (*Salsola collina*) 等; 在侵蚀地带, 则被百里香 (*Thymus vulgaris*)、狼毒 (*Stellera chamaejasme*) 等取代, 植被盖度一般为 20% ~ 40%。

1.2 东胜地区生态功能分区

利用卫星 Landsat-4, 5 的 ETM 影像 (2004 年) 数据通过遥感软件 (ermap), 地理信息系统软件 (mapinfo) 进行多通道合成、几何校正和空间分析等叠加技术对土壤侵蚀的 5 项因子进行综合分析, 完成东胜地区的影像合成与生态功能分区。在此基础上, 对各个生态功能区的主要地形、植被进行样方调查, 对土壤质地、土壤 pH 值进行测定。

1.3 敏感性指数的计算

1.3.1 土壤侵蚀敏感性综合评价

运用通用土壤侵蚀方程进行评价, 包括降水侵蚀力 (R)、土壤质地因子 (K)、坡度坡向因子 (LS) 与地表覆盖因子 (C) 4 个方面的因素。采用专家打分法确定各项因子对土壤侵蚀的贡献值大小, 即权重大小^[3]。土壤侵蚀敏感性加权指数法由于在不同地区降水、地貌、土壤质地与植被对土壤侵蚀的作用不同, 运用加权方法来反映不同因素的作用差异。

$$SS_j = \sum C(i, j) W_{ij}$$

式中, SS_j 为 j 空间单元土壤侵蚀敏感性指数; C_i 为 i 因素敏感性等级值; W_{ij} 为影响土壤侵蚀因子的权重。

1.3.2 土地沙漠化敏感性指数

$$DS_j = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 D_i}$$

式中, DS_j 为 j 空间沙漠化敏感性指数; D_i 为 i 因素敏感性等级值。

1.3.3 土壤盐渍化敏感性指数计算

$$YSJ = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 S_i}$$

式中, YSJ 为 J 空间单元土地盐渍化敏感性指数; S_i 为 i 因素敏感性等级。

经公式计算, 得出数值, 再与分级表中分级标准值 (SS) 对照, 得出敏感性等级面积。

2 结果与分析

2.1 东胜地区的生态功能分区

生态功能分区是按照区域范围内草原、沙地、河流、水体以及地形等生态环境的整体联系性、空间连续性、相似与异质性, 依据区域内各种生态系统类型的主要生态功能及其组合以及人类活动的影响强度, 开展生

态功能区划。以利将经济发展和环境制约的矛盾统一协调,同时因地制宜地进行产业结构的布局,发挥区域优势,维护生态系统的服务功能,提升区域整体的环境质量。生态功能区划致力于区分生态系统的服务功能,包括气候、主要生态系统类型的结构与过程,依据生态完整性、生物群落结构与功能的同一性和人工调控方式的相似性原则,并兼顾行政区划,以便统一管理(图1)。

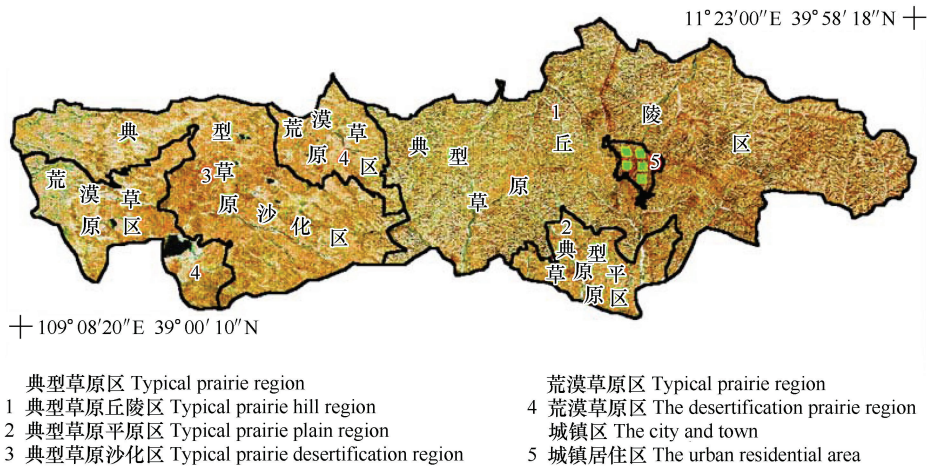


图1 东胜地区生态功能分区
Fig.1 Different ecological functional areas of Dongsheng district

具体生态功能分区为:将一级区中的典型草原区分为典型草原丘陵区,总面积为 1745 km²,其中 3 个二级区中,典型草原丘陵区面积 1091 km²,典型草原平原区面积 133 km²,典型草原沙化区 521km²;将一级区中的荒漠草原区分为 1 个荒漠草原区,面积为 352 km²。一级区中的城镇区分为 1 个城镇居住区,面积为 23.53 km²(表 2)。

2.2 各功能分区的生态环境敏感性分析

根据自然地理特征与地带性气候特点(干旱,半干旱区特点)选取了土壤侵蚀,土壤沙化和土地盐渍化 3 个土壤指标来反映各区的土地退化状况及其敏感性分析。

2.2.1 土壤侵蚀敏感性

土壤侵蚀敏感性评价是为了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,根据国家水利部制定的“土壤侵蚀分类分级标准”^[18]以及相关研究成果^[19,20],结合研究区的降水特点和生态环境状况,运用通用土壤侵蚀方程中降水侵蚀力(R)、土壤质地因子(K)、坡度坡向因子(LS)与地表覆盖因子(C) 4 个方面的因素,确定土壤侵蚀敏感性、沙漠化敏感性影响分级和影响因子的贡献率(表 3)。由于在不同地区降水、地貌、土壤质地与植被对土壤侵蚀的作用不同,土壤侵蚀敏感性加权指数计算方法运用加权方法来反映不同因素的作用差异。根据内蒙古东胜地区自然环境条件,并征询专家意见,确定各因素权重(表 4)。

风蚀沙化是在具有沙质分布的干旱、半干旱地区,不同的时间尺度上,以风为驱动力,参与其它条件作用的一系列气候地貌过程。这一过程从受到人类社会活动的影响以来,人类活动就成为其重要的诱导因素。而且,随着人类开发利用能力和物质能量投入水平的日益提高,对这一过程的影响力与日俱增,风蚀沙化的产物

表 2 东胜地区生态功能分区类型

Table 2 Types of ecological functions in the Dongsheng district		
一级分区 Principal	二级分区类型 Secondary	面积 Area (km ²)
典型草原区 Typical prairie region		1745.00
	1 典型草原丘陵区 Typical prairie hill region	1091.00
	2 典型草原平原区 Typical prairie plain region	133.00
	3 典型草原沙化区 Typical prairie desertification region	521.00
荒漠草原区 Typical prairie region	4 荒漠草原区 The desertification prairie region	352.00
城镇区 The city and town	5 城镇居住区 The urban residential area	23.53

就是沙地和荒漠化土地。根据湿润指数及区域特点将沙漠化敏感性分为 5 个等级(表 5)。

表 3 土壤侵蚀敏感性分级指标

Table 3 Classification of influences of precipitation, soil texture, topography and vegetation upon sensitivity of soil loss					
分级 Grade	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Less sensitive	中度敏感 Sensitive	高度敏感 More sensitive	极敏感 Most sensitive
降水侵蚀力(<i>R</i>) Rainfall	< 25	25 ~ 100	100 ~ 400	400 ~ 800	> 600
土壤质地 Soil texture	石砾,沙	粗砂土,细砂土, 粘上	面砂土,壤土	砂壤土,粉粘土, 壤粘土	砂粉土,粉
地形起伏度 Topography (m)	0 ~ 20	20 ~ 50	51 ~ 100	101 ~ 300	> 300
植被 Vegetation	水体,草本沼泽	阔叶林,针叶林, 草甸,灌丛和萌生 矮林	稀疏灌木草原,一 年二熟粮作,一年 水旱两熟	荒漠,一年一熟 粮作	无植被
分级赋值(<i>C</i>) Classification	1	3	5	7	9
分级标准(<i>SS</i>) Standard	1.0 ~ 2.0	2.1 ~ 4.0	4.1 ~ 6.0	6.1 ~ 8.0	> 8.0

土地盐渍化敏感性作为反映旱地灌溉土壤发生盐渍化的可能性,可根据地下水位来划分敏感区域,再采用蒸发量、降雨量、地下水矿化度与地形等因素划分敏感性等级。在盐渍化敏感性评价中,首先应用地下水临界深度(即在一年中蒸发最强烈季度不致引起土壤表层开始盐渍的最浅地下水埋藏深度),划分敏感与不敏感地区(参照国家不同地区地下水临界水位深刻分度标准)^[18],运用蒸发量、降雨量、地下水矿化度与地形指标划分等级(表 6)。

根据土地退化分析指标,东胜地区的 4 个生态功能区(除城镇区)土地退化与土壤侵蚀状况具有明显分异(表 7)。典型草原丘陵区的土壤侵蚀敏感性指数 $SS_j = 4.2$,根据分级标准(SS) $4.1 < 4.2 < 6.0$,属于土壤侵蚀中度敏感区;土地沙漠化敏感性指数 $DS_j = 6.3$,根据分级标准(SS) $6.1 < 6.3 < 8.0$ 属于土地沙漠化高度敏感区;土地盐渍化敏感性指数 $YS_j = 1.71$,根据分级标准(SS) $1.0 < 1.71 < 2.0$ 属于土地盐渍化不敏感区。

表 4 土壤侵蚀各因素权重表

Table 4 weighted factors of soil erosion		
指标 Factor	重要性 Significance	对土壤侵蚀的相对 重要性 Weightiness
降水 Rainfall	一般重要	0.1
地貌 Topography	比较重要	0.4
土壤质地 Soil texture	明显重要	0.3
植被 Vegetation	绝对重要	0.2

* 土壤侵蚀敏感性评价结合各因素权重,经公式计算,得出 i 值,再与分级表中分级标准值(SS)对照,得出敏感性等级面积
Evaluation of soil erosion sensitivity of the weight for various factors, the formula, that i value, classification and re-classification standard value in the table (SS) control, that was the sensitivity class size

表 5 沙漠化敏感性分级指标

Table 5 The sensitive ratings index of desertification					
指标 Factor	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Less sensitive	中度敏感 Sensitive	高度敏感 More sensitive	极敏感 Most sensitive
湿润指数 Humidity index	> 0.65	0.5 ~ 0.65	0.20 ~ 0.50	0.05 ~ 0.20	< 0.05
冬春季大于 6 m s^{-1} 大风的天数 Windy days	< 5	15 ~ 30	30 ~ 45	45 ~ 60	> 60
土壤质地 Soil texture	基岩	粘质	砾质	壤质	沙质
植被覆盖(冬春) Vegetation (winter and spring)	茂盛	适中	较少	稀疏	裸地
分级赋值 Classification (C)	1	3	5	7	9
分级标准 Standards (SS)	1.0 ~ 2.0	2.1 ~ 4.0	4.1 ~ 6.0	6.1 ~ 8.0	> 8.0

对于典型草原平原区,土壤侵蚀敏感性指数 $SS_j = 4.0$,根据分级标准(SS) $2.1 < 4.0 = 4.0$,属于土壤侵蚀轻度敏感区;土地沙漠化敏感性指数 $DS_j = 6.7$,根据分级标准(SS) $6.1 < 6.7 < 8.0$,属于土地沙漠化高度敏感区;土地盐渍化敏感性指数 $YS_j = 2.47$,根据分级标准(SS) $4.1 < 2.47 < 6.0$,属于土地盐渍化轻度敏感区。

表 6 盐渍化敏感性指标分级

Table 6 Sensitivity ratings indexes of desertification

指标 Factor	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Less sensitive	中度敏感 Sensitive	高度敏感 More sensitive	极敏感 Most sensitive
蒸发量/降雨量 Evaporation /rainfall	<1	1~3	3~10	10~15	>15
地下水矿化度 (g L ⁻¹)Salinity of Goundwater	<1	1~5	5~10	10~25	>25
地形 Topography	山区	洪积平原,三角洲	泛滥冲积平原	河谷平原	低地平原,闭流盆地
分级赋值 Classification	1	3	5	7	9
分级标准 Standards	1.0~2.0	2.1~4.0	4.1~6.0	6.1~8.0	>8.0

表 7 东胜地区不同生态功能区土壤侵蚀状况

Table 7 Eco-functional areas division of sensitivity to water-caused soil loss in Dongsheng

功能区 Regionalization	降水侵蚀力 Rainfall	土壤质地 Soil texture	地形起伏度 Topography	植被 Vegetation	侵蚀敏感性指数 Sensitivity index of soil loss
草原丘陵区	5	5	3	5	4.2
草原平原区	5	7	1	5	4.0
草原沙化区	5	9	1	5	4.6
荒漠草原区	5	9	1	7	5.0
	湿润指数 Umidity index	冬春大于 6m/s 大风天数 Windy days	土壤质地 Soil texture	植被覆盖 Coverage of vegetation	沙漠化敏感指数 Index of desertification
草原丘陵区	5	9	7	5	6.3
草原平原区	5	9	9	5	6.7
草原沙化区	5	9	9	5	6.7
荒漠草原区	5	9	9	7	7.3
	蒸发量/降雨量 Evaporation / Rainfall	地下水矿化度 Salinity of Goundwater	地形 Topography		盐渍化敏感指数 Index of the sensitive salinized soil
草原丘陵区	5	1	1		1.71
草原平原区	5	1	3		2.47
草原沙化区	5	1	3		2.47
荒漠草原区	5	1	3		2.47

典型草原沙化区的土壤侵蚀敏感性指数 $SS_j = 4.6$, 根据分级标准(SS) $4.1 < 4.6 < 6.0$, 属于土壤侵蚀中度敏感区; 土地沙漠化敏感性指数 $DS_j = 6.7$, 根据分级标准(SS) $6.1 < 6.7 < 8.0$ 属于土地沙漠化高度敏感区; 土地盐渍化敏感性指数 $YS_j = 2.47$, 根据分级标准(SS) $2.1 < 2.47 < 4.0$ 属于土地盐渍化轻度敏感区。

荒漠草原区土壤侵蚀敏感性指数 $SS_j = 5.0$, 根据分级标准(SS) $4.1 < 5.0 < 6.0$, 属于土壤侵蚀中度敏感区; 土地沙漠化敏感性指数 $DS_j = 7.3$, 根据分级标准(SS) $6.1 < 7.3 < 8.0$, 属于土地沙漠化高度敏感区; 土地盐渍化敏感性指数 $YS_j = 2.47$, 根据分级标准(SS) $2.1 < 2.47 < 4.0$ 属于土地盐渍化轻度敏感区。

3 结果与讨论

鉴于以上分析, 东胜地区侵蚀环境具有不稳定性、脆弱性、多种侵蚀营力复合侵蚀和人类活动影响, 这与其他高原区的研究结果类似^[20-24]。4 个生态功能区就土地沙漠化而言都属于土地沙漠化高度敏感区, 将其沙漠化程度由高到低排序: 荒漠草原区 > 典型草原沙化区 = 典型草原平原区 > 典型草原丘陵区; 就土壤侵蚀程度而言, 典型草原平原区属于土壤侵蚀轻度敏感区, 荒漠草原区, 典型草原沙化区, 典型草原丘陵区属于土壤侵蚀中度敏感区, 将其土壤侵蚀化程度由高到低排序: 荒漠草原区 > 典型草原沙化区 > 典型草原丘陵区 > 典型草原平原区; 就土地的盐渍化而言, 典型草原丘陵区属于土地盐渍化不敏感区, 其它 3 区属于土地盐渍化轻度敏感区。

鄂尔多斯东胜地区有着特殊的区位特征和复杂多样的地貌类型, 植被覆盖率低, 土地退化, 养分和水土流

失严重,土地沙漠化、盐渍化加剧^[25,26];不合理的耕作制度^[27]、工业规模的不断扩大,特别是矿产资源的大规模开发,带来了严重的环境问题,人为因素对生态系统健康影响愈加突出^[28,29]。

根据分析研究,提出优化模式,认为在沟壑区采取的“一坝一塘”和砒砂岩地区采用植物“柔性坝”治理模式^[10],其它生态功能区采取适度禁牧和退耕还林还草的治理措施。因此,鄂尔多斯东胜地区的生态环境建设应遵循水分平衡原则,防护、经营、利用并重的原则,依据鄂尔多斯东胜地区不同生态功能区的土壤侵蚀敏感性特征,通过天然放牧草地、半人工草地与人工草地相结合以及牧(草)林复合系统建设,充分发挥灌木优势,采取网带种植、半固定沙丘的保护与恢复以及景观生态安全设计等科学途径进行分区治理,优化水土流失区植被恢复结构,使东胜地区生态环境建设更趋合理化和科学化,同时为西北地区土壤侵蚀敏感区治理提供借鉴。

References:

- [1] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, *et al.* RUSLE: revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1991, 46 (1):30—33.
- [2] Follett Stewart. B A. Soil erosion and crop productivity. American society of Agronomy Madison. Wisconsin USA: The crop society of American in soil science society of America publishers, 1985, 98—102.
- [3] Wang X K, Ou Y Z Y, Xiao H, *et al.* Distribution and division of sensitivity to water-caused soil loss in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (1):14—19.
- [4] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, *et al.* Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE), *Agricultural Handbook No.537*. Washington: United States Department of Agriculture, 1997.
- [5] Zhang G P, Liu J Y, Zhang Z X, *et al.* Remote sensing based analysis of the distribution pattern and dynamic changes of sandy land in China from 1995 to 2000. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (9): 1500—1506.
- [6] Wei W, Chen L D, Fu B J, *et al.* Mechanism of soil and water loss under rainfall and earth surface characteristics in a semiarid loess hilly area. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (11):3847—3853.
- [7] Liu Y H, Cao J J, Yao J C, *et al.* Present situation of water and soil loss and its countermeasures of management in Inner Mongolia. *Inner Mongolia Forestry Science and Technology*, 2002, 1:38—45.
- [8] Xia J G, Hu C, Liu Y. The economic loss of soil erosion and its assessment model in the west of Sichuan basin: a case of Meng Mountain in Mingshan county. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11):3696—3703.
- [9] Lei J, Bao Y H, Mung H D L, *et al.* The study of law of aeolian erosion of soil in the Erdos plateau. *Journal of Inner Mongolia Normal University (Natural Science Edition)*, 2002, 31(4):394—403.
- [10] Bi C F, Tai Y L, Wang F G, *et al.* Probe to integrated soil conservation techniques for soil erosion prevention in soft rock areas. *Journal of Sediment Research*, 2003, 3:62—65.
- [11] Yu F, Li X B, Chen Y H, *et al.* Land use change and soil erosion evaluation in Huangfuchuan Watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1947—1956.
- [12] Zang L P, Tang K L. Design of torrential rain process in Shenfu-Dongsheng coal mining area in northern Loess Plateau. *Journal of Desert Research*, 2002, 20(4):422—425.
- [13] Li J, Shao M A, Zhang X C. Database construction for the EPIC model on the loess plateau region. *Journal of Northwest Science-Technology University of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition)*, 2004, 32(8):21—26.
- [14] Zhao S W, Liu N N, Su J, *et al.* Effects of soil and water conservation measures on eroded soil development in the Loess Plateau. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4 (6):5—12.
- [15] Ma X H, Jiao J Y. Research progresses in interaction between vegetation restoration and soil environment in the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, 11(4):157—161.
- [16] Qiu Y, Fu B J, Wang J, *et al.* Spatio-temporal variability of the soil erosion and its relations to the influencing factors on the Loess Plateau, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (9): 1871—1877.
- [17] Office of Soil General Investigation in Yihjiao League. *Soil in Yihjiao League*. Huhhot:Inner Mongolia People Press, 1988. 20—301.
- [18] Ministry of Water Resources of China Standards for classification and gradation of soil erosion (SL 190-1996). Beijing: China Hydroelectricity Press, 1997. 14—16.
- [19] Sun X H. Research on soil erosion potential danger in Jinan based on GIS. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17 (6): 47—50.

- [20] Min J, Yang H, Zhao C Y. GIS Based gradation method and its use of soil erosion risk. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2005, 25(4): 61—64.
- [21] Huang S Y, Zha X. Study on soil erosion process and evolution of soil physicochemistry characteristics on sloping farmland. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(3):290—295.
- [22] Jiang F S, Huang Y H, Lin J S, *et al.* Effects of different resume measures on soil physical and chemical properties in serious erosion red soil region. *Subtropical Soil and Water Conservation*, 2006, 18(1):1—5, 28.
- [23] Wang X L, Hu F, Li H X, *et al.* Characteristics of biological property of erosive degraded red soil under nature restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1404—1411.
- [24] Gao X T. A study on characteristics of erosion environment in Shenfu-Dongsheng coal mining area. *Research of Soil and Water Conservation*, 1999, 6(2):81—87.
- [25] Zhang X C, Shao M A, Huang Z B, *et al.* An experimental research on soil erosion and nitrogen loss under different vegetation cover. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 20(6):1038—1044.
- [26] Lu Y Z, Li B G, Hu K L, *et al.* Spatial variability of soil nutrients with different landforms on Erdos Plateau. *Soil and Environment*, 2002, 11(1): 32—37.
- [27] Wang Z L, Shao M A, Lei T W. Spatial patterns of tillage erosion and its contribution to total erosion in loess region of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(7):1328—1335.
- [28] Huang H P, Yang J, Song B Y, *et al.* Ecosystem health assessment on the hill and gully area of Loess Plateau in Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5):1048—1056.
- [29] Zhi Y B, Wang Z L, Ma Z, *et al.* The speciation and bioavailability of heavy metals pollutants in soil along highway in Erdos. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5):2030—2039.

参考文献:

- [3] 王效科, 欧阳志云, 肖寒, 等. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究. *生态学报*, 2001, 21(1): 14~19.
- [5] 张国平, 刘纪远, 张增祥, 等. 1995~2000 年中国沙地空间格局变化的遥感研究. *生态学报*, 2002, 22(9):1500~1506.
- [6] 卫伟, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 半干旱黄土丘陵沟壑区降水特征值和下垫面因子影响下的水土流失规律. *生态学报*, 2006, 26(11):3847~3853.
- [7] 刘永宏, 曹建军, 姚建成, 等. 内蒙古水土流失现状与治理对策. *内蒙古林业科技*, 2002, 1:38~45.
- [8] 夏建国, 胡萃, 刘芸. 川西低山区土壤侵蚀经济损失及其评估模式——以名山蒙山为例. *生态学报*, 2006, 26(11): 3696~3703.
- [9] 雷军, 包玉海, 孟克达来, 好必斯嘎拉图. 鄂尔多斯高原土壤风力侵蚀规律研究. *内蒙古师范大学学报(自然科学版)*, 2002, 31(4):394~403.
- [10] 毕慈芬, 邵源林, 王富贵, 等. 防止砒砂岩地区土壤侵蚀的水土保持综合技术探讨. *泥沙研究*, 2003, 3:62~65.
- [11] 喻锋, 李晓兵, 陈云浩, 等. 皇甫川流域土地利用变化与土壤侵蚀评价. *生态学报*, 2006, 26(6):1947~1956.
- [12] 张丽萍, 唐克丽. 黄土高原北部神府东胜矿区暴雨过程动态设计. *中国沙漠*, 2002, 20(4):422~425.
- [13] 李军, 邵明安, 张兴昌. 黄土高原地区 EPIC 模型数据库组建. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(8):21~26.
- [14] 赵世伟, 刘娜娜, 苏静, 等. 黄土高原水土保持措施对侵蚀土壤发育的效应. *中国水土保持科学*, 2006, 4(6):5~12.
- [15] 马祥华, 焦菊英. 黄土高原植被恢复与土壤环境相互作用研究进展. *水土保持研究*, 2004, 11(4):157~161.
- [16] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 陈利顶. 黄土丘陵小流域土壤侵蚀的时空变异及其影响因子. *生态学报*, 2004, 24(9): 1871~1877.
- [17] 内蒙古伊克昭盟土壤普查办公室. 伊克昭盟土壤. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1988. 20~301.
- [18] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准(SL 190-1996). 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 14~16.
- [19] 孙希华. 基于 GIS 的济南市山丘区土壤侵蚀潜在危险度评价研究. *水土保持学报*, 2003, 17(6): 47~50.
- [20] 闵婕, 杨华, 赵纯勇. GIS 支持下的土壤侵蚀潜在危险度分级方法研究及应用. *水土保持通报*, 2005, 25(4):61~64.
- [21] 黄少燕, 查轩. 坡耕地侵蚀过程与土壤理化特性演变. *山地学报*, 2002, 20(3):290~295.
- [22] 蒋芳市, 黄炎和, 林金石, 等. 强度侵蚀红壤区不同治理措施对土壤理化性质的影响. *亚热带水土保持*, 2006, 18(1):1~5, 28.
- [23] 王晓龙, 胡锋, 李辉信, 等. 侵蚀退化红壤自然恢复下土壤生物学质量演变特征. *生态学报*, 2007, 27(4):1404~1411.
- [24] 高学田. 神府-东胜矿区侵蚀环境特征. *水土保持研究*, 1999, 6(2):81~87.
- [25] 张兴昌, 邵明安, 黄占斌, 等. 不同植被对土壤侵蚀和氮素流失的影响. *生态学报*, 2002, 20(6):1038~1044.
- [26] 吕贻忠, 李保国, 胡克林, 等. 鄂尔多斯不同地形下土壤养分的空间变异. *土壤与环境*, 2002, 11(1):32~37.
- [27] 王占礼, 邵明安, 雷廷武. 黄土区耕作侵蚀及其对总土壤侵蚀贡献的空间格局. *生态学报*, 2003, 23(7):1328~1335.
- [28] 黄和平, 杨劼, 宋炳煜, 等. 内蒙古黄土丘陵沟壑区生态系统健康评价. *生态学报*, 2005, 25(5):1048~1056.
- [29] 智颖颢, 王再岚, 马中, 等. 鄂尔多斯地区公路沿线土壤重金属形态与生物有效性. *生态学报*, 2007, 27(5):2030~2039.