

阳洼流域土壤¹³⁷Cs 的空间分布及侵蚀研究

马远远¹, 马琨¹, 马斌², 徐志友², 卜崇德²

(1. 宁夏大学 农学院, 银川 宁夏 750021; 2. 宁夏水利厅 水土保持局, 银川 宁夏 750001)

摘要: 利用¹³⁷Cs 示踪技术, 研究了宁南黄土高原阳洼流域土壤¹³⁷Cs 的空间分布和侵蚀特征。研究结果表明, 流域¹³⁷Cs 背景值为 1 966.99 Bq/m², 流域内不同土地利用方式下土壤¹³⁷Cs 比活度不同, 且有比较明显的¹³⁷Cs 比活度分异。流域内林草地土壤剖面¹³⁷Cs 呈现指数分布模式, 坡耕地剖面的¹³⁷Cs 则呈均匀分布模式。不同土地利用方式下土壤¹³⁷Cs 的面积活度表现为沟台 > 林草地 > 农耕坡地, 其中农耕坡地、沟台地土壤侵蚀、沉积表现出较大的变异, 变异系数达 65% 以上。阳洼流域土壤侵蚀模数与¹³⁷Cs 比活度呈现出相反分布趋势, 但都明显具有斑块状和条带状分布的特点。流域土壤以中、强度侵蚀为主, 中、强度侵蚀面积占流域总面积的 46%, 在流域土壤侵蚀防治中坡耕地仍是治理的关键。

关键词: 空间分布; ¹³⁷Cs; 土壤侵蚀; 阳洼流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0027-04

中图分类号: S157.1, X125

Spatial Distribution of Cesium-137 and Characteristics of Soil Erosion in Yangwa Watershed

MA Yuan yuan¹, MA Kun¹, MA Bin², XU Zhi you², BO Chong de²

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Bureau of Soil and Water Conservation of Ningxia, Yinchuan, Ningxia 750001, China)

Abstract: Spatial distribution of Cesium-137 and characteristics of soil erosion were studied using ¹³⁷Cs trace technology in the Yangwa watershed on the Loess Plateau of the southern Ningxia Hui Autonomous Region. The ¹³⁷Cs inventory was 1 966.99 Bq/m² in the watershed. Special activities of ¹³⁷Cs were different in plough layers under different land uses. It could be expressed by an exponential function for the soil profile of forest and grassland and by a uniform distribution for the soil profile of sloping land. In terms of area activities of ¹³⁷Cs, tableland, forest and grassland, and sloping land were ranked in descending order. Sedimentation and soil erosion on cultivated sloping land and tableland had a great variance, with the variation coefficient being over 65%. The change trends of soil erosion module and distribution of ¹³⁷Cs were adverse, but both of them were distributed as a strip or patch under different land uses. The moderate and serious erosion types were the main types of soil erosion and their area accounts for 46% of the total area of Yangwa watershed. Therefore, controlling soil erosion on sloping land is the key to the watershed management.

Keywords: spatial distribution; Cesium 137; soil erosion; Yangwa watershed

土壤侵蚀是土地退化的根本原因, 也是导致生态环境恶化的重要原因。由于全球气候的变化及人类的影响, 使得黄土高原自然条件日趋恶劣, 土壤侵蚀日益严重, 已成为世界上土壤侵蚀最强烈, 侵蚀危害最严重的地区之一。而宁夏南部地区总面积 30 456 km², 约占宁夏总面积的 58.8%, 是黄土高原生态环境最脆弱的地区受地形、地貌、气候、植被及下垫面的

影响, 该区土壤侵蚀特征复杂, 其年侵蚀模数可达 2 500~10 000 t/km²。从 20 世纪 60 年代初 Menzel 研究土壤侵蚀和放射性核素沉降运移关系之后, 放射性核素的应用逐步发展起来^[1]。¹³⁷Cs 经干湿沉降到地表后迅速被土壤黏土矿物和有机质紧密吸附且很难被解吸下来, 它在土壤中的运移主要由土壤侵蚀及人为的犁耕等作用引起。黄土高原地区土壤颗粒

收稿日期: 2007-09-28 修回日期: 2007-11-20

资助项目: 国家自然科学基金(40401035); 宁夏自然科学基金(NZ0511)

作者简介: 马远远(1982-), 女(汉族), 河南省商丘市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤侵蚀与土壤环境。E-mail: mayuanyuan.333@163.com。

通讯作者: 马琨(1972-), 男(汉族), 宁夏回族自治区银川市人, 博士, 副教授, 主要从事农业生态与土壤侵蚀研究。E-mail: makun0411@163.com。

较细且质地均一,在土壤侵蚀过程中无分选作用。因此,与其它地区相比,黄土高原更适于应用 ^{137}Cs 示踪法研究中、大尺度下的土壤侵蚀及其空间分异。Rogowski 和 Tamura 率先应用 ^{137}Cs 法研究土壤侵蚀,测定了径流量、土壤侵蚀量和 ^{137}Cs 流失量,发现了土壤侵蚀量与 ^{137}Cs 流失量之间的指数关系^[2]。目前,国内外对土壤侵蚀研究的相关模型中考虑了 ^{137}Cs 的年沉降分量,耕层厚度以及 ^{137}Cs 的衰变常数和采样年份等土壤侵蚀的诸多影响因子,模型估算结果的相对误差较小^[3-4]。Ritchie 等(1990)以密西西比河北部流域为例,研究了3个不同覆盖类型小流域的土壤侵蚀,提出 ^{137}Cs 的单位面积流失量是:裸地>农耕地>草地>林地,由于坡度、坡长的不同, ^{137}Cs 移动的现象也极为明显^[2]。

唐翔宇等应用 ^{137}Cs 法估算了南方红壤地区土壤侵蚀模数,试验结果也较为理想^[4]。张信宝、杨明义等应用 ^{137}Cs 法研究了农耕地坡面土壤侵蚀的空间分布、小流域土壤侵蚀与沉积空间分布特征以及小流域泥沙来源,试验结果为黄土高原流域水土保持提供了有益的指导^[5-9]。但是,宁南黄土高原由于其特殊的气候、植被、下垫面及地貌类型,决定了该区域土壤侵蚀与黄土高原其它区域既有一定的共性,也有不同程度的差异性。目前针对宁南黄土丘陵沟壑区第Ⅱ副区中、大尺度的定量研究报道很少。因此,以宁南黄土高原阳洼流域为例,开展流域不同土地利用方式及不同土壤剖面深度 ^{137}Cs 含量的空间分布格局及流域土壤侵蚀的相关研究,可为黄土高原小流域的综合治理提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

宁南黄土高原阳洼流域位于黄河第四级支流小川河左岸王洼沟的支沟长流水沟中下游处,东经 $106^{\circ}39'$,北纬 $36^{\circ}06'$,平均海拔 $1\ 735\sim 1\ 755\text{ m}$ 。年均气温 $7.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均蒸发量 $1\ 400\text{ mm}$,多年平均降水量 450 mm 。属黄土丘陵第Ⅱ副区,流域面积 10.53 km^2 ,沟长 7.53 km ,常流量 $1.7\sim 2.4\text{ L/s}$ 。流域内丘陵起伏,沟壑纵横,峁状丘陵间有残塬,地形破碎,植被稀少,林草覆盖率 $15\%\sim 23\%$,年土壤侵蚀模数高达 $5.0\times 10^3\sim 1.5\times 10^4\text{ t/km}^2$,土壤以黄绵土为主。

1.2 样品采集及 ^{137}Cs 测试

(1) 应用 ^{137}Cs 研究土壤侵蚀需采集土壤剖面样品。根据流域地形图,结合GPS定位采样,随机选择流域内的76个位点,样点分布见图1。采样位置

包括流域内的农耕坡地、水平梯田、自然荒坡、林草地等土地利用方式及梁、峁、塬、沟等地貌类型。农耕坡地坡面较长时,在坡面的上、中、下部各采集1个位点。坡面较短时,取样点位均在坡面中部。对于明显不均一的坡面而言,在坡面的凸凹处加采1个土壤样品。

(2) 土壤剖面分层样。采用长 20 cm ,宽 10 cm ,高 5 cm 的矩形框取样,将取样框垂直打入地面,边框顶和地面齐平后,用刮刀刮取框内土壤为第1层,重复以上取样方法,原位向下依次采取第2层,3层... N 层。取样深度依土地类型和取样剖面位置差异而有所不同,不能超过可能含 ^{137}Cs 的土层深度^[11]。非农耕地侵蚀区取样深度一般为 35 cm ,农耕地取样深度一般为 $20\sim 25\text{ cm}$ 。

样品采集后,除去石块、根系等杂物,土样经风干、研磨、过筛(孔径 2.0 mm),粒径 $< 2\text{ mm}$ 和 $> 2\text{ mm}$ 分别称重。粒径 $< 2\text{ mm}$ 供 ^{137}Cs 含量测试。样品测重 380 g 左右。用美国CANBERRA公司所产高纯锗探测器。该系统对 ^{60}Co 1332keV γ 射线的分辨率为 1.9 keV ,峰康比 $50:1$,探测效率 30% , 24 h 道漂小于3道,测定时间为 $43\ 200\text{ s}$ 。

1.3 土壤侵蚀模型

(1) 坡耕地选用Zhang的模型^[6]。Zhang的模型表达式为

$$X_n = X_0(1 - \Delta h/H)^n \quad (1963)$$

式中: X_n —— n 年时土壤剖面 ^{137}Cs 的含量(Bq/m^2);
 X_0 —— ^{137}Cs 的背景值(Bq/m^2); H ——犁耕层厚度(cm); Δh ——土壤年流失厚度(cm)。土壤年侵蚀模数可用下式表示

$$M = 10000 \cdot \Delta h \cdot D$$

式中: M ——土壤年均侵蚀模数 [$\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$];
 D ——土壤容重(g/cm^3)。

(2) 非农耕地的侵蚀速率模型^[6]

$$A_h = A \cdot (1 - e^{-\lambda h})$$

式中: A_h ——土壤剖面中某一深度(h)以上 ^{137}Cs (Bq/m^2)面积活度; A ——当地 ^{137}Cs 背景值(Bq/m^2);
 λ —— ^{137}Cs 下渗系数; h ——为1963年至采样年的土壤流失总厚度。

2 结果与讨论

2.1 背景值的选择与确定

确定区域 ^{137}Cs 背景值是应用 ^{137}Cs 示踪法估算土壤侵蚀速率大小的关键, ^{137}Cs 背景值的选取直接影响土壤侵蚀模数计算结果的准确性^[2]。 ^{137}Cs 背景值是某一地区无侵蚀、无堆积发生地块的 ^{137}Cs 面积

浓度,可由当地的¹³⁷Cs 沉降数据或当地未扰动地块剖面¹³⁷Cs 的测定值估算,也可由同一地块过去的测定值作为背景值。由于阳洼流域沟壑纵横,难以找到符合要求的相关位点,因此背景值取样位点选择在毗邻阳洼流域的六盘山挂马沟林场自然保护区内,这里属于温带草原区的南部森林草原地带,地带性植被类型为草甸草原和温带落叶阔叶林,植物种类组成丰富,天然次生林保存面积较大,森林覆盖率达 70% 以上,为较少受人为干扰的自然半自然状态森林,能满足背景值取样的要求。¹³⁷Cs 实测背景值变幅为 1 448.99~ 2 745.81 Bq/m²,平均为 1 966.99 Bq/m²,背景值的变异系数为 19.76%,属于弱变异。说明该背景值取点区域土壤沉积和侵蚀没有较大的差异,¹³⁷Cs 的沉降相对均匀,这也与¹³⁷Cs 沉降到土壤后,土壤同一层面上¹³⁷Cs 沉降呈现均匀分布的规律相符。宁南黄土高原¹³⁷Cs 实测背景值与齐永青等研究黄土高原地区得出的平均背景值 2 063 Bq/m² 相比^[7],约低 4.65%,差异较小。分析认为,这主要是因为¹³⁷Cs 的背景值受区域降水量、气候、大气运动以及¹³⁷Cs 沉降的影响,所以会造成一些差异。

2.2 ¹³⁷Cs 空间变异的描述性统计

土地利用方式在很大程度上决定着¹³⁷Cs 含量的分布。因此,¹³⁷Cs 的空间变异对研究区域侵蚀状况具有十分重要的现实意义。由表 1 可以看出,流域内不同土地利用方式下¹³⁷Cs 面积活度的变幅平均为 828.14~ 1 440.39 Bq/m²,¹³⁷Cs 面积活度在流域内不同土地利用方式下差异明显。不同土地利用方式下各地貌位点以沟台地的¹³⁷Cs 面积活度最高,其次是林草地。总体的表现为,沟台地¹³⁷Cs 面积活度分别高于林草地、农耕坡地 35.17% 和 73.93%。可见,与人类耕作的农耕坡地相比,不受或较少受人工干扰的处于自然半自然状态的林草地、沟台地貌位点的¹³⁷Cs 含量相对较高。在流域内,农耕坡地、沟台地的¹³⁷Cs 含量变异系数均超过 65% 以上,属强变异,说明农耕坡地、沟台位点土壤沉积和侵蚀差异较大,土壤¹³⁷Cs 容易受到人为和自然活动的影响而产生较大的变异。流域内沟台地土地类型的¹³⁷Cs 面积活度在 3 种土地利用方式中居于最高,是由于沟台地具有相对较低的高程、地形平坦,上部来水、来沙易在此沉积的缘故。可见,¹³⁷Cs 的含量的空间分布还受地形的影响。

2.3 流域内不同利用方式下¹³⁷Cs 的分布模式

由图 1 可见,在少受扰动的林草地上,由于植物根系与土壤的相互作用,增强了土壤的抗侵蚀能力。剖面中¹³⁷Cs 的比活度变幅为 0.6~ 2.8 Bq/kg,主要

分布在 0—20 cm 土层;¹³⁷Cs 的最大比活度出现在土层 5—10 之间,比活度达 2.8 Bq/kg,和 0—5, 10—15, 15—20 cm 土层相比,分别高出 33.3%, 115.3%, 211.1%。¹³⁷Cs 的比活度总体表现为随土层深度的增加而逐渐下降。拟合发现,¹³⁷Cs 质量浓度随土层深度的增加呈指数下降,符合方程 $y = 3.139e^{-0.2719x}$ ($R^2 = 0.84$),这与张信宝等的研究结果一致^[8]。

表 1 不同土地利用方式¹³⁷Cs 含量统计特征值

地貌位点	林草	农耕坡地	沟台
样点数	19	18	11
平均数/(Bq·m ⁻²)	1 066.02	828.14	1 440.39
标准偏差	519.14	542.86	996.07
变异系数/%	48.70	65.55	69.15

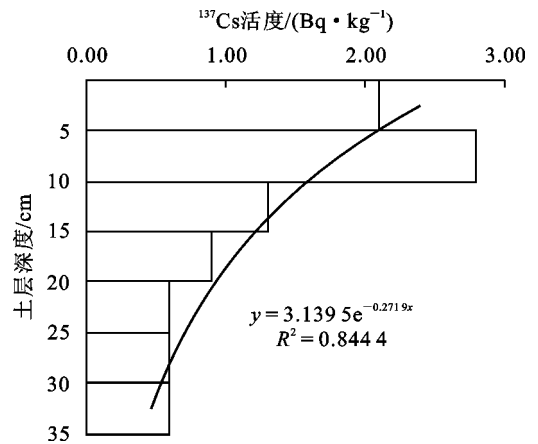


图 1 林草地¹³⁷Cs 剖面分布模式

流域耕作土壤剖面中(图 2),由于耕作活动对土壤的扰动,使耕层深度(0—20 cm)内的土壤发生交换、混匀,因此,¹³⁷Cs 比活度随土层深度没有明显变化,上坡¹³⁷Cs 比活度随深度增加而略有递减,递减幅度最大达 16%,变化幅度总体较小。中坡和下坡¹³⁷Cs 比活度随土层深度增加,无明显差异,¹³⁷Cs 平均比活度为 4.08, 4.38 Bq/kg。在耕层内呈较均匀分布,这与张燕对苏南坡地土壤侵蚀探讨所得到的结果是一致的^[9]。但坡耕地利用方式下,上、中、下部不同坡位的土壤剖面¹³⁷Cs 比活度不同。上坡¹³⁷Cs 比活度在 0—5 cm 层最高,达 1.50 Bq/kg,但明显低于中坡和下坡的相同土层,仅为中、下坡¹³⁷Cs 比活度的 34.24%~ 36.76%,这可能是由于坡上部表层土壤遭受土壤侵蚀后,随着径流向坡中、下部运动,当到达坡中、下部时,水流携带泥沙过程中土壤侵蚀力减弱,在重力作用下,导致表层土壤的部分沉积,并形成富集,结果会形成坡面中、下部¹³⁷Cs 面积浓度分布较高的空间格局。

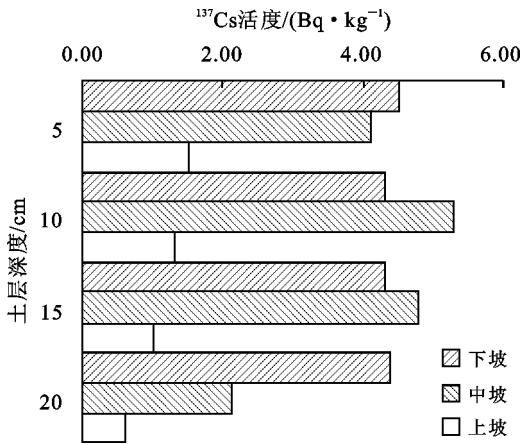


图 2 坡耕地¹³⁷Cs剖面分布模式

2.4 流域内位点¹³⁷Cs空间分布状态

由附图 2 可以看出, 阳洼流域土壤¹³⁷Cs 面积活度呈现斑块状镶嵌分布, 沿流域内等高线变化, ¹³⁷Cs 面积活度强弱在表层 0—5 cm 土壤内有逐步递变的趋势, 但流域内不同区域, 其递变特征不同。总体而言, 流域¹³⁷Cs 面积活度呈现由西北向东南递变。流域中部 0—5 cm 土壤¹³⁷Cs 面积活度差异明显变化较大。与 0—5 cm 土层¹³⁷Cs 面积活度相比, 阳洼流域 15—20 cm 土层各斑块位置上土壤¹³⁷Cs 面积活度差异相对较小; 除流域中部区域外, 流域西北部、东南部¹³⁷Cs 面积活度分布比较均一。说明随土壤深度增加, 土壤¹³⁷Cs 面积活度受到人为活动影响会逐渐减少, 土层内¹³⁷Cs 面积活度会趋于均匀分布, 但土地利用方式多样, 且受人为活动扰动强烈的区域, 宜产生较强的空间异质性。

阳洼流域土壤侵蚀模数的区域分布差异也较明显(附图 3)。流域内¹³⁷Cs 含量分布和土壤侵蚀模数分布呈现出相反的趋势, 在有较高¹³⁷Cs 含量的流域位点往往具有较低的土壤侵蚀模数。随纬度梯度的变化, 阳洼流域土壤侵蚀模数及土壤侵蚀强度不断改变, 从而对流域的景观类型也产生了相应影响。流域景观梯度表现为从强度到微度景观类型发生分异, 侵蚀模数从 7 041.86 t/(km² · a) 向 266.26 t/(km² · a) 逐渐递减, 呈条带状分布。土壤侵蚀强度等级随纬度梯度的增加显示出不同强度相间分带的空间格局。利用 ArcView 3.2 空间分析发现, 阳洼流域中部和北部的部分区域属于轻微侵蚀, 其流失量在黄土高原区土壤容许流失量范围内。该区域占流域总面积的 14%, 面积达到 1.474 2 km², 其地貌类型主要为林草地。阳洼流域内达到中度侵蚀以上的区域主要集中在流域东北部及东南部, 侵蚀面积占流域总面积的 46%; 其中, 强度侵蚀的区域占 12%, 地貌类型主要以农坡耕地为主, 总面积达到 1.263 6 km²。因此, 总

体而言, 在流域中农坡耕地的合理利用仍是防治水土流失及小流域综合治理的关键。

3 结论

(1) 不同地貌的¹³⁷Cs 含量表现出较明显的分异, 其中不受或较少受人工干扰的处于自然半自然状态的林草地、沟台地貌位点的¹³⁷Cs 含量明显高于人类扰动的农耕坡地。但农耕坡地、沟台的¹³⁷Cs 含量变异系数达 65% 以上。

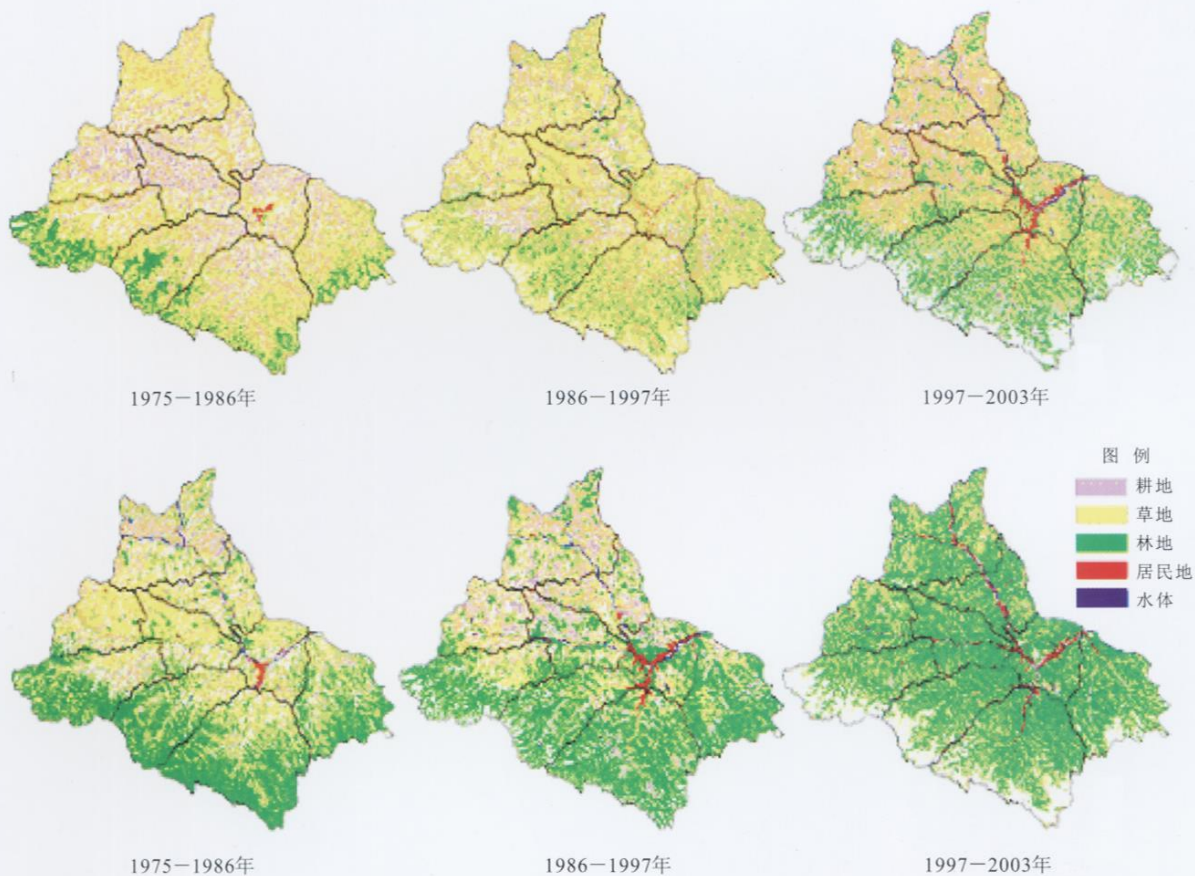
(2) 在阳洼流域林草地剖面¹³⁷Cs 呈现指数分布形式,¹³⁷Cs 比活度分布随土壤剖面深度的增加而急剧降低; 坡耕地剖面的¹³⁷Cs 为均匀分布模式。反映了人类活动与自然因素相比, 对土壤侵蚀的影响更大。

(3) 阳洼流域土壤表层(0—20 cm)¹³⁷Cs 含量呈现较明显的斑块状空间分布格局, 流域内¹³⁷Cs 面积活度和土壤侵蚀模数呈现出相反分布趋势, 区域分布差异明显。

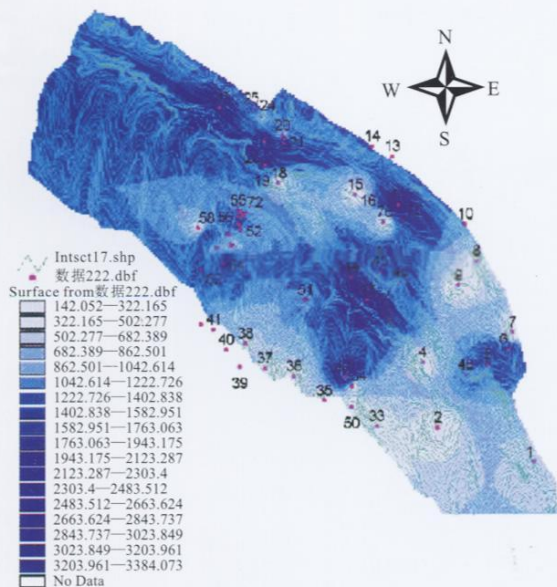
(4) 阳洼流域以中、强度土壤侵蚀为主, 合理农作是有效控制流域土壤侵蚀的关键。

[参 考 文 献]

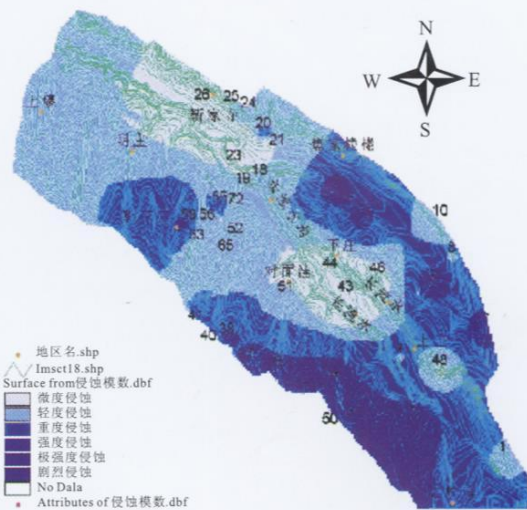
- [1] Zapata F. Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides [M]. Netherland: Kluwer Ac Publ, 2002.
- [2] Jerry J, Ritchie C, Mchenry J Roiger. Application of radioactive fallout Caesium 137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: A Review[J]. Journal of Environment Quality, 1990, 19: 215—233.
- [3] Yang Hao, Chang Qing, Du Mingyuan et al., Quantitative model of soil erosion rates using ¹³⁷Cs for uncultivated soil[J]. Soil Science, 1998, 163(3): 248—257.
- [4] 唐翔宇, 杨浩, 曹慧, 等. ¹³⁷Cs 法估算南方红壤地区土壤侵蚀作用的初步研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 4—7, 11.
- [5] 杨明义, 田均良, 刘普灵, 等. 用¹³⁷Cs 法研究农耕地坡面土壤侵蚀空间分布特征初报[J]. 水土保持研究, 1997, 4(2): 96—99.
- [6] Zhang X B, Higgitt D L, Walling D E. A preliminary assessment of the potential for using Caesium 137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China [J]. Hydrology Science Journal, 1990, 35: 243—252.
- [7] 齐永青, 张信宝, 贺秀斌, 等. 中国¹³⁷Cs 本底值区域分布研究[J]. 核技术, 2006, 29(1): 42—50.
- [8] 张信宝. ¹³⁷Cs 法测算黄土高原土壤趋势侵蚀速率的初步研究[J]. 地球化学, 1991(3): 12—218, 10—16.
- [9] 张燕, 张洪, 杨浩, 等. 用¹³⁷Cs 法探讨苏南坡地的土壤侵蚀[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 53—56.



附图1 延安试区各时期土地利用类型空间变化图



附图2 阳洼流域0—5 cm土层¹³⁷Cs面积活度分布



附图3 宁南黄土高原阳洼流域土壤侵蚀模数分布