

# 海伦市土地利用与土壤侵蚀时空变化分析

赵军<sup>1,2</sup>, 葛翠萍<sup>1,2</sup>, 孟凯<sup>3</sup>, 王玉玺<sup>4</sup>

(1. 海伦农业生态系统国家野外科学观测研究站, 中国科学院

东北地理与农业生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150081; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;

3. 黑龙江大学 农学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 4. 黑龙江水土保持研究所, 黑龙江 宾县 150400)

**摘要:** 以 1995 年、2000 年 2 个时段的土地利用和土壤侵蚀 TM 影像数据为基础, 采用 GIS 空间分析方法和马尔科夫模型对海伦市土地利用和土壤侵蚀变化进行了综合分析。分析表明, 土壤轻度、中度侵蚀以旱田为主, 强度侵蚀主要是坡耕地。海伦市 1995 年土壤侵蚀强度大于 2000 年, 从土地利用和土壤侵蚀整体发展趋势来看是向着良性循环转化。

**关键词:** 土壤侵蚀; 土地利用类型; 地理信息系统

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)02-0067-05

中图分类号: TP79, S157.1

## Spatial and Temporal Variability of Landuse and Soil Erosion at Hailun County

ZHAO Jun<sup>1,2</sup>, GE Cui-ping<sup>1,2</sup>, MENG Kai<sup>3</sup>, Wang Yur-xi<sup>4</sup>

(1. Hailun Station of National Field Station of Scientific Researches and Observation, Northeast Institute

of Geography of Agricultural Ecology, The Chinese Academy of Science, Harbin, Heilongjiang 150081, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China; 3. Heilongjiang University, Harbin,

Heilongjiang 150080, China; 4. Heilongjiang Institute of Soil and Water Conservation, Binxian, Heilongjiang 150400, China)

**Abstract:** In order to investigate soil erosion conditions and relationship between soil erosion and landuse in Hailun County, an analysis was performed based on GIS using the data of TM images in 2 different periods of 1995 and 2000. Results showed that dry farm land was the main eroded land type with light and moderate erosion degrees, and slope land was the main type of landuse with an intense erosion degree. Soil erosion rate in 2000 was reduced compared with that in 1995. A good trend was observed after soil and water conservation was implemented in the study region.

**Keywords:** soil erosion; landuse type; GIS

东北黑土区总土地面积  $7.04 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 主要分布在松嫩平原的东部和北部的波状起伏平原和周围台地低丘区。土壤侵蚀面积达  $2.74 \times 10^6 \text{ hm}^2$  (其中水力和风力侵蚀面积为  $1.99 \times 10^6 \text{ hm}^2$  和  $7.50 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ), 占黑土总面积的 38.9%, 其中坡耕地侵蚀面积为  $2.33 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 占黑土侵蚀面积的 85%<sup>[1-2]</sup>。近年来, 景观尺度上土壤侵蚀的空间变异性以及与环境因子的关系研究已成为国际上的研究热点之一<sup>[3-5]</sup>, 在土壤侵蚀逐渐严重的黑土区域, 这方面的研究尤为重要, 但是目前该区域土地利用和土壤侵蚀方面的深入研究还比较少。

黑土区土壤侵蚀主要受自然和人为 2 种因素的影响。黑土区的垦殖指数很高, 多为漫川漫岗地形, 坡长较长, 季节明显, 降雨集中, 在春季化冻时期和汛

期暴雨季节水土流失均很严重; 另外黑土区单一的粮食生产, 掠夺式的经营, 盲目开荒, 广种薄收, 重开发轻管理, 重利用轻培肥, 破坏了天然资源, 致使黑土地裸露遭到严重侵蚀, 地力锐减, 土地生产力大幅度降低, 农业生态环境日趋恶化。目前, 东北黑土区已成为我国主要商品粮基地中土壤侵蚀严重的地区。而不合理的土地利用和植被的减少对土壤侵蚀具有放大效应, 在区域土壤侵蚀发展过程中起到重要作用<sup>[6-7]</sup>。土壤侵蚀类型包括水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀等, 水力侵蚀是黑土区主要的侵蚀类型。本文以东北黑土区海伦市为例, 利用 GIS 平台, TM 影像解译数据分析土壤侵蚀的现状和土地利用与土壤侵蚀的关系, 可在为合理的土地利用和水土流失的防治提供科学的依据。

收稿日期: 2006-03-10

资助项目: 黑龙江省攻关项目 (GB05C201-01); 中国科学院创新项目 (INF-SDB-1-28)

作者简介: 赵军 (1958-), 女 (汉族), 哈尔滨人, 研究员, 主要从事 GIS、数据库和土壤水肥模型研究。E-mail: jzhao@mail.hrb.hl.cninfo.net。

## 1 研究区概况

海伦市位于黑龙江省中部,地处小兴安岭西麓,北纬 46°58′—47°52′,东经 126°14′—127°45′。是由小兴安岭向松嫩平原的过度地带,处在松嫩平原的中北部。地势从东北到西南由低丘陵、高平原、河阶地、河漫滩依次呈阶梯形逐渐降低,最高 490 m,最低约 150 m。海伦市属于温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季温热多雨,雨热同期,年平均降雨量大约为 550 mm,60%~70%集中在 6—8 月份,年平均气温为 1.5 左右,冬季平均气温约在 -20.0,极端气温 -39。夏季平均气温在 19.0~20.0 之间,年有效积温为 2300~2600,年日照时数 2600~2800 h,无霜期一般为 110~125 d,土壤属于中厚层黑土。

根据第二次土壤普查资料统计,海伦市土地总面积为  $4.55 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,其中黑土是主要的耕作土壤,占总耕地面积 63.4%。

## 2 材料与方法

数据采用 1995 年和 2000 年 1:100 000 陆地卫星 (Landsat TM) 土地利用解译数据和土壤侵蚀解译数据。土地利用数据分类根据全国《土地利用现状调查技术规程》和土地的用途、经营特点、利用方式和覆盖特征等因素作为土地利用的分类依据,区分差异性,归纳共同性,从高级到低级逐级划分。将土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地和未利用土地共 6 个一级类型和 24 个二级类型。土壤侵蚀强度分级原则上以土壤允许流失量 [东北黑土区  $200 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ] 与全国最大流失量为两极值,根据《全国土壤侵蚀调查技术规程》,在充分分析土壤环境、气候环境、植被环境、物质文化环境以及地形地貌的基础上,内插分级,划分为 6 级(见表 1)。

表 1 土壤侵蚀强度划分标准

| 分级      | 平均侵蚀模数/<br>( $\text{t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ) | 平均流失厚度/<br>( $\text{mm a}^{-1}$ ) |
|---------|--|-----------------------------------|
| 1 微度侵蚀  | <200,500,1000                                    | <0.15,0.37,0.74                   |
| 2 轻度侵蚀  | 200,500,1500~<br>2500                            | 0.15,0.37,0.74~<br>1.90           |
| 3 中度侵蚀  | 2500~5000  | 1.90~3.70                         |
| 4 强度侵蚀  | 5000~8000  | 3.70~5.90                         |
| 5 极强度侵蚀 | 8000~15000                                       | 5.90~11.10                        |
| 6 剧烈侵蚀  | >15000   | >11.10                            |

土壤侵蚀分为水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀、重力侵蚀、工程侵蚀 5 个一级类型。水力侵蚀强度分级标准根据黑龙江省实际情况,对已获取水沙观测资料的地区,通过类比分析法,推算不同地理要素条件下的土壤侵蚀模数。对照《土壤侵蚀分类和分级标准、土壤侵蚀强度划分标准》进行判定。

在 SUPERMAP/ GIS 软件环境下,将土地利用和土壤侵蚀 2 种数据分别进行同一化处理,得到 1995—2000 年土地利用变化图层;1995—2000 年土壤水蚀变化图层;然后对 2 个时段土地利用和土壤侵蚀变化进行分析。再以土地利用为底图层,土壤侵蚀为输入层进行叠加处理,得到各种土地利用类型所拥有的土壤侵蚀数据,最后利用马尔科夫模型得出土地利用和土壤侵蚀变化矩阵,并进行分析。

马尔可夫模型是生态研究中非常有用的随机模型。是一种预测事件发生的概率的方法。它的性质是系统未来时刻的情况只与现在有关,而与过去的历史无直接关系。其定理为:对于一个马尔可夫链  $\{X_n, n=1,2,\dots\}$ , 称以  $m$  步转移概率  $P_{ij}(m)$  为元素的矩阵  $P(m) = [P_{ij}(m)]$  为马尔可夫的  $m$  步转移矩阵。当  $m=1$  时记  $P(1) = P$  称为马尔可夫链的一步转移矩阵,或简称转移矩阵。它们具有下列基本性质:

$$\text{对一切 } i, j \in E, 0 \leq P_{ij}(m) \leq 1;$$

$$\text{对任意 } i \in E, \sum_{j \in E} P_{ij}(m) = 1$$

马尔可夫模型可以用来分析土地利用和土壤侵蚀类型之间是如何进行转换变化的<sup>[8]</sup>。我们利用 SUPERMAP 软件的 GIS 空间分析功能和对两期数据进行叠加量算,得出土地利用类型之间的转换矩阵表和土壤侵蚀转换矩阵表从而建立马尔科夫模型。

## 3 结果与讨论

### 3.1 海伦市 1995—2000 年土地利用变化

通过马尔科夫模型分析海伦市 1995—2000 年土地利用变化表明(见表 2),耕地是海伦市主要景观,其次是沼泽、林地和水田。在此时间段,林地增加了  $589 \text{ hm}^2$ ,增幅为 1.44%,林地的增加主要来自坡耕地和耕地;草地增加了  $260 \text{ hm}^2$ ,增幅为 7%,主要来自旱田和沼泽;而旱田减少了  $4479 \text{ hm}^2$ ,减幅达到 1.4%。这些变化有利于降低土壤侵蚀的作用,也是近年来海伦市退耕还林、还草综合治理取得的成果。但是,坡耕地数量虽小,增长幅度却为 56%,主要来自疏林地和灌木林;水田增加了  $10391 \text{ hm}^2$ ,增幅为 55.4%;沼泽减少了  $6677 \text{ hm}^2$ ,减幅为 13%。这些变

化对水土流失和土壤侵蚀又带来了不利的影响。但是这些变化和 20 世纪 80 年代至 90 年代的变化相比较<sup>[9]</sup>,林地面积、草地的面积有所增加,而坡耕地面

积增长速度却大大降低,这说明 20 世纪 90 年代以后,海门市加强了生态环境的建设,使生态系统和土地利用布局逐渐向良性循环发展。

表 2 1995—2000 年土地利用变化

| 类型       | 1995 面积/<br>hm <sup>2</sup> | 1995 占总<br>面积比/ % | 2000 面积/<br>hm <sup>2</sup> | 2000 占总<br>面积比/ % | 变化量/<br>hm <sup>2</sup> | 变化百<br>分比/ % |
|----------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------|--------------|
| 林地 21    | 41 032.30                   | 9.15              | 41 621.49                   | 9.28              | 589.19                  | 1.44         |
| 灌木林 22   | 3 665.19                    | 0.82              | 2 991.36                    | 0.67              | - 673.83                | - 18.38      |
| 疏林地 23   | 189.60                      | 0.04              | 189.60                      | 0.04              | 0.00                    | 0.00         |
| 高草地 31   | 4 035.10                    | 0.90              | 4 321.05                    | 0.96              | 285.95                  | 7.09         |
| 中草地 32   | 579.68                      | 0.13              | 580.06                      | 0.13              | 0.38                    | 0.07         |
| 沼泽 64    | 50 351.43                   | 11.22             | 43 674.11                   | 9.73              | - 6 677.32              | - 13.26      |
| 裸土地 65   | 77.41                       | 0.02              | 77.41                       | 0.02              | 0.00                    | 0.00         |
| 平水田 113  | 18 768.45                   | 4.18              | 29 159.33                   | 6.50              | 10 390.88               | 55.36        |
| 丘陵旱田 122 | 891.28                      | 0.20              | 1 392.26                    | 0.31              | 500.98                  | 56.21        |
| 平旱田 123  | 322 010.26                  | 71.77             | 317 531.19                  | 70.77             | - 4 479.06              | - 1.39       |

### 3.2 1995—2000 年土壤侵蚀变化分析

海门市 1995—2000 年土壤水蚀的变化见表 3。其中微度侵蚀可以视为允许侵蚀。总体来看 1995 年轻度侵蚀面积约为  $2.20 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 占总侵蚀面积的 4.7%; 中度侵蚀面积约为  $2.30 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占 49%; 强度和极强度侵蚀分别为 234, 112  $\text{hm}^2$ , 各占 0.05% 和 0.02%。2000 年土壤轻度水蚀为  $1.82 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 占总侵蚀面积的 39%, 比 1995 年增加了  $1.60 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 增幅为 727%。轻度水蚀增加的面积来自微度水蚀  $1.50 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、中度水蚀  $1.55 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 、强度水蚀 68  $\text{hm}^2$  和极强度水蚀 68  $\text{hm}^2$ 。

这说明以前没有侵蚀的区域由于开垦和不合理的种植出现了轻度水蚀, 而以前是中度水蚀和强度、

极强度水蚀的区域由于综合防治, 侵蚀强度降低(见图 1—2)。2000 年的土壤中度侵蚀、强度侵蚀与 1995 年比较分别减少了  $2.08 \times 10^4 \text{ hm}^2$  和 143  $\text{hm}^2$ , 减幅为 90% 和 61%; 极强度侵蚀已基本消失。根据马尔科夫模型分析, 在 1995—2000 年的 5 a 期间, 中度水蚀大面积转变为轻度水蚀, 但是也有 1 201  $\text{hm}^2$  面积的微度水蚀转为了更严重的中度水蚀; 强度和极强度侵蚀基本修复。

### 3.3 土地利用类型与土壤侵蚀变化的分析

通过在 GIS 中对土地利用和土壤侵蚀数据的叠加处理得出不同土地利用类型土壤侵蚀数据。通过不同地类土壤侵蚀强度比较分析, 可以得出 2 个不同时期不同地类土壤侵蚀强度的动态变化(见表 4)。



图 1 海门市 1995 年土壤侵蚀空间分布图



图 2 海门市 2000 年土壤侵蚀空间分布图

表 3 1995—2000 年海伦市土壤侵蚀变化情况

| 土壤水蚀程度 | 1995 年侵蚀面积/ $\text{hm}^2$ | 1995 年占侵蚀总面积/ % | 2000 年侵蚀面积/ $\text{hm}^2$ | 2000 年占侵蚀总面积/ % | 面积变化量/ $\text{hm}^2$ | 百分比/ %   |
|--------|---------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|----------------------|----------|
| 11 微度  | 216 497.83                | 46.10           | 264 798.09                | 56.40           | 48 300.26            | 22.30    |
| 12 轻度  | 22 019.58                 | 4.70            | 182 054.16                | 38.80           | 160 034.58           | 726.78   |
| 13 中度  | 230 905.81                | 49.13           | 22 825.78                 | 4.85            | - 208 080.03         | - 90.10  |
| 14 强度  | 233.98                    | 0.05            | 91.25                     | 0.02            | - 142.73             | - 61.00  |
| 15 极强度 | 112.09                    | 0.02            | 0.00                      | 0.00            | - 112.09             | - 100.00 |

表 4 各种土地利用类型的侵蚀变化

| 地类  | 微度 11 (1995) | 微度 11 (2000) | 轻度 12 (1995) | 轻度 12 (2000) | 中度 13 (1995) | 中度 13 (2000) | 强度 14 (1995) | 强度 14 (2000) | 极强 15 (1995) | 极强 15 (2000) |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 坡耕地 | 0.00         | 0.02         | 1.35         | 0.26         | 0.11         | 0.48         | 99.92        | 100.00       | 100.00       | 0.00         |
| 疏林地 | 15.15        | 15.16        | 35.85        | 0.65         | 0.15         | 0.99         | 0.05         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| 旱田  | 39.99        | 49.94        | 60.55        | 90.58        | 96.20        | 90.54        | 0.03         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| 草地  | 1.70         | 1.29         | 0.52         | 0.41         | 0.10         | 0.70         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| 灌木林 | 0.74         | 1.00         | 0.07         | 0.16         | 0.89         | 0.20         | 0.00         | 0.00         | 0.11         | 0.00         |
| 水田  | 8.57         | 10.14        | 0.10         | 1.52         | 0.08         | 0.11         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| 沼泽  | 23.13        | 16.07        | 0.02         | 0.67         | 0.11         | 0.07         | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |

1995 年和 2000 年 2 个时段中,旱田在轻度侵蚀和中度侵蚀中所占比例最大,并且轻度侵蚀有增加的趋势,增加了 9.95%,而中度侵蚀减少了 5.66%。林地轻度侵蚀减少了 35.2%,而中度侵蚀增加了 0.84%,增加的部分主要是疏林地或灌木林(在农林交错地带)区域。草地轻度侵蚀略有减少而中度侵蚀略有增加。坡耕地 1995 年在强度和极强度侵蚀中贡献最大,但是到 2000 年极强度侵蚀已经消失。

由以上分析可见,从 1995—2000 年土地利用日趋合理,坡耕地的退耕还林还草,使得林地草地呈增加趋势,侵蚀强度在降低。主要景观旱田侵蚀的强度也降低。根据受土壤侵蚀的状态影响土地利用类型

按照面积大小排序是:平原旱田 > 沼泽 > 林地 > 水田 > 草地 > 灌木林 坡耕地;也就是说坡耕地、灌木林更易发生土壤侵蚀。这样的结果与各种土地利用类型所占的面积大小有关,海伦市 70% 以上的景观都是旱田,但也说明了土地利用本身对土壤侵蚀贡献的特性。由图 1 可见 2 个时段不同土地利用和土壤侵蚀空间分布格局。

### 3.4 土地利用和土壤侵蚀强度相关分析

将各类土壤侵蚀面积的和作为因变量,各类土地利用侵蚀面积作为自变量,在 SPSS 中利用两变量法作土地利用类型与土壤侵蚀强度之间相关分析,结果见表 5。

表 5 土地利用与土壤侵蚀强度相关性分析

| 土壤侵蚀相关分析 | 林地     | 草地     | 水田     | 沼泽     | 疏林地    | 灌木林    | 旱田     | 坡耕地    |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1995     | - 0.82 | - 0.73 | - 0.71 | - 0.71 | - 0.71 | - 0.50 | - 0.31 | 0.21   |
| 2000     | - 0.77 | - 0.82 | - 0.76 | - 0.72 | - 0.53 | - 0.72 | - 0.84 | - 0.38 |

注:  $n=5$ ,  $r_{0.05}=0.75$ 。

通过相关分析,可以反映土地利用类型之间土壤侵蚀强度的相对大小。对 1995 年土地利用类型分析,林地抗御土壤侵蚀的能力较强,侵蚀强度相对较小;坡耕地与土壤侵蚀强度之间为正相关,表明坡耕地侵蚀比其它地类严重;其它地类与侵蚀强度的相关性较弱,表明这些土地利用类型的土壤侵蚀强度居中。2000 年的土地利用类型分析,由于大片旱田由 1995 年的中度侵蚀转为 2000 年的轻度侵蚀,增强了旱田抗御土壤侵蚀的能力,所以显示出平原旱田的土

壤侵蚀强度相对较小;同时草地和林地表现出了抗御土壤侵蚀的能力较强,其它地类关系相对较弱,侵蚀强度居中,相关性不显著。同时也说明,土壤侵蚀强度受土地利用方式和植被覆盖的影响并呈明显的相关性。不同土地利用方式条件下,土壤侵蚀强度和面积不断变化。一般来讲,林地/灌木林植被覆盖度比较大,地表存在着较多的枯枝落叶以及腐殖质,不仅能截流降雨减少径流,而且能削弱雨滴对土壤表面的直接打击<sup>[10-11]</sup>,减弱径流的挟沙能力,从而有效地

控制泥沙搬运能力促进泥沙的沉积。平原旱田侵蚀也相对较小,但是漫川漫岗地形的旱田当雨量集中时,产生的水土流失也相对较大,所以保护林地资源,减少坡耕地对于生态环境的保护是非常重要的措施。

#### 4 结论与建议

土地利用是长期以来在自然环境、经济利益和社会条件综合作用下的人为活动,不同的土地利用方式对土壤侵蚀的影响不同。在 GIS 空间分析支持下,将土地利用数据与水力侵蚀数据进行空间叠加,可得到不同水力侵蚀下土地利用特征的空间分布。利用马尔科夫模型得出:1995—2000年,海门市土壤水蚀的变化为以微度侵蚀为主,占总侵蚀面积的56.4%,轻度侵蚀次之,占38.8%,中度侵蚀占4.85%。随着侵蚀强度的增加,侵蚀面积在逐渐减少。其中,在微度和轻度水力侵蚀区,旱田和林地所占的面积最大,强度和极强度侵蚀区,坡耕地所占面积最大,几乎达到100%。说明坡耕地更易发生重度土壤侵蚀。这个结果和实际中的结论相吻合。

和20世纪80年代相比,从1995—2000年土地利用的格局趋于合理化,退耕还林和坡耕地治理都取得了成效,总体上看中度侵蚀、强度侵蚀和极强度侵蚀都呈减少的趋势。林地、草地抗御土壤侵蚀的能力较强。但有些区域土壤侵蚀还在加重,急需治理。

(1) 建议调整农、林、牧构成比例,建立合理利用自然资源的黑土农田生态系统,使农田生态系统与森林生态系统和草地生态系统相结合,形成复合的农林草生态系统,使之具有较大抗御灾害的稳定性。(2) 应加强农田防护林建设,减少风力侵蚀,提高抵御自然灾害能力。(3) 应改进农艺措施,调整垄向。这样可有效地降低农田土壤侵蚀强度。(4) 推广少耕深松耕法。将雨水深储于土壤中,也能有效降低水土流失。(5) 建议推广粮草等高种植。利用生物隔离带降低坡耕地的侵蚀强度。(6) 应在侵蚀大区域加强

水保工程建设。

总之,利用工程养生物,生物养工程,形成了生物措施、农业措施和工程措施相结合的防护体系,发挥群体作用,合理地土地利用和减少土壤侵蚀才能取得良好的综合效益。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 孟凯. 黑土生态系统脆弱性成因与修复[J]. 国土与自然资源研究, 2005(2): 66—67.
- [2] 刘宪春, 温美丽, 刘洪鹤. 东北黑土区水土流失及防治对策研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(2): 74—76.
- [3] 陈松林. 基于 GIS 的土壤侵蚀与土地利用关系研究[J]. 福建师范大学学报, 2000(1): 34—37.
- [4] Bolinder M A, Angers D A, Gregorich, E G, et al. The response of soil quality indicators to conservation management[J]. Can J Soil, 1999, 79: 37—45.
- [5] Cihacek L J, Swan J B. Effects of erosion on soil chemical properties in the north central region of the United States [J]. J Soil Water Conserv, 1994, 49: 259—265.
- [6] 柳长顺, 齐实, 史明昌. 土地利用变化与土壤侵蚀关系的研究进展[J]. 水土保持学报, 2001, 15(5): 10—17.
- [7] 周亚荣, 张增祥, 周全斌, 等. 基于 GIS 的土壤侵蚀与土地利用关系分析[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 67—69.
- [8] 徐岚. 利用马尔可夫过程预测东陵区土地利用格局的变化[J]. 应用生态学报, 1993, 4(3): 272—278.
- [9] 赵军, 张珊, 孟凯. 黑土区域土地利用变化及其生态效应分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 138—141.
- [10] Rai S C, Sharma E. Comparative assessment of runoff characteristics under different land use patterns within a Himalayan watershed[J]. Hydrological Processes, 1998, 12: 2235—2248.
- [11] Ludwig J A, Tongway D J, Marsden S G. Stripes, strands or stipples: modelling the influence of three landscape banding patterns on resource capture and productivity in semi-arid woodlands[J]. Australia. Catena, 1999, 37: 257—273.