

# 2000—2010 年辽河流域生态系统功能变化评估

郑娇琦<sup>1,2,3</sup>, 王华斌<sup>2</sup>, 刘伟玲<sup>3</sup>, 张林波<sup>3</sup>

(1. 北京国测星绘信息技术有限公司, 北京 101300; 2. 国家测绘地理信息局卫星测绘应用中心, 北京 101300;  
3. 中国环境科学研究院 国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室, 北京 100012)

**摘要:** 生态系统功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用, 与人类的生产生活密切相关。以 RS 和 GIS 技术为基础, 利用 TM 遥感影像、植被 NDVI 以及气象等数据, 计算 2000—2010 年辽河流域土地利用、景观格局、植被覆盖、水源涵养能力、土壤侵蚀强度以及生物多样性保护能力等指标的变化, 从而分析近 10 a 来辽河流域生态系统基本状况以及变化趋势。结果表明: 近 10 a 间, 辽河流域城镇在一定程度上有所扩张, 但并未破坏生态用地; 植被覆盖度、水源涵养能力、生物多样性保护能力都有提高; 土壤侵蚀强度有所增加, 一定程度受 2010 年降水量的影响。总体来说, 2000—2010 年, 辽河流域生态系统功能基本处于稳定且有转好的趋势; 但仍需注意城镇的扩张对耕地以及生态用地的影响。

**关键词:** 生态系统功能; 辽河流域; 土地利用

中图分类号: X171

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)06-0245-05

## Evaluation on the Change of Ecosystem Functions in Liao River Basin During the Period from 2000 to 2010

ZHENG Jiaoqi<sup>1,2,3</sup>, WANG Huabin<sup>1,2</sup>, LIU Weiling<sup>3</sup>, ZHANG Linbo<sup>3</sup>

(1. Beijing Satimage Information Technology Co., Ltd., Beijing 101300, China; 2. Satellite Survey and Mapping Application Center, NASG, Beijing 101300, China 3. State Environmental Protection Key Laboratory of Regional Ecological Processes and Functions Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Ecosystem functions refer to the natural environmental conditions and effectiveness for human survival and utility conditions, and are closely related to the life and production of human. Based on RS and GIS technology, using TM remote sensing images, NDVI of vegetation and meteorological data, change of land use types, landscape pattern, vegetation coverage, water conservation, soil erosion and biodiversity conservation were calculated in order to analyze the basic status and change trend of ecosystem functions in Liao River basin in the last decade. The results showed that in recent 10 years, the urban area expanded in the study area, but had little damage to ecological land; vegetation coverage, ability of water conservation and biodiversity conservation enhanced; while soil erosion exacerbated due to the rise in precipitation to some extent. Overall, ecosystem functions in Liao River basin were basically stable and had a better trend; but impact on arable land and ecological land from urban expansion should be noticed.

**Keywords:** ecosystem functions; Liao River basin; land use

生态系统功能是指生态系统与生态过程形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用<sup>[1]</sup>。随着能量和物质等的不断交流, 生态系统亦产生不断的变化<sup>[2]</sup>。其动态变化过程可以用来衡量其生态环境质量, 为区域的生态环境治理、规划发展提供科学依据。植被是生态系统的主要组分, 植被覆盖度是衡

量地表植被生长状况的重要指标<sup>[3]</sup>; 水源涵养能力和土壤侵蚀强度是反映研究区水资源状况和水土流失情况的重要指标<sup>[4-5]</sup>; 生物多样性能够体现生物资源的丰富性。因此本文以 RS 和 GIS 技术为基础, 利用 TM 影像、植被 NDVI 以及气象等数据, 计算 2000—2010 年辽河流域土地利用、景观格局、植被覆盖、水

源涵养、土壤侵蚀以及生物多样性等指标的变化,分析近 10 a 来辽河流域生态系统基本状况,以期为辽河流域的生态环境治理、发展规划开发提供参考。

## 1 研究区概况

辽河流域位于我国东北地区的西南部,是全国重要的七大流域之一,东部地区最大的河流。源于河北省,流经河北省、内蒙古自治区、吉林省、辽宁省,注入渤海。本研究区域为辽河流域辽宁省段,地处我国东北地区南部,呈菱形分布在辽宁省的中部,面积为 6.6 万 km<sup>2</sup>,主要包括辽河、浑河、太子河、大辽河四条一级河流。辽河流域地处北温带半湿润半干旱区,属大陆性季风气候区,春季干燥多风沙,夏季高温多雨,秋季历时短,冬季寒冷干燥。多年平均气温 4~9℃,多年平均降水量时空分布不均匀,降水时间多集中在 7—8 月份,空间分布上整体呈现由东部向西部递减趋势,东部山丘区 800~950 mm,西部仅为 300~500 mm。研究区内土壤主要包括棕壤、草甸土、水稻土、潮土、风沙土等。流域内自然植被类型多样,具有温带草原、暖温带落叶阔叶林以及带性灌丛等植被类型<sup>[6]</sup>。

## 2 研究数据与方法

### 2.1 研究数据

土地利用数据以 2000 年和 2010 年 2 期 Landsat TM 影像作为数据源,解译生成土地利用数据,一级生态分类系统为林地、灌丛、草地、湿地、耕地、城镇、荒漠 7 种类型;NDVI 数据来源于 2000 年到 2010 年 MODIS 数据中的植被指数(MOD13 A3)的数据,空间分辨率为 1 km×1 km,时间分辨率为 30 d;1:100 万的土壤图,来源于全国第二次土壤普查;降雨数据来源于中国气象科学数据共享网,包括辽河流域范围内 10 个气象站点的 2000 年和 2010 年的月降雨量和年降雨量。

### 2.2 研究法方法

2.2.1 土壤侵蚀 采用通用土壤流失方程(USLE)计算土壤侵蚀。该方程于 20 世纪 60 年代提出,是目前土壤侵蚀量估算中应用较为广泛的方法。USLE 结构简单,所需参数易于获取,结果可靠,在美国乃至世界范围内得到了迅速的推广和应用<sup>[7]</sup>。USLE 模型只考虑与土壤侵蚀相关的各个因子,它通过获取这些因子的相关数据,进行深入地统计分析,拟合多元回归方程,然后建立各影响因子与土壤侵蚀相互关系的模型<sup>[8]</sup>。USLE 模型的数学表达式为:

$$A=R \times C \times K \times LS \times P \quad (1)$$

式中:A——年均土壤侵蚀量[t/(km<sup>2</sup>·a)];R<sub>i</sub>——第 i 月降雨侵蚀力因子[MJ·mm/(hm<sup>2</sup>·h·a)];

K——土壤可蚀性因子[t/hm<sup>2</sup>·h/(MJ·mm·hm<sup>2</sup>)];LS——地形因子,无量纲,其中 L——坡长因子,S——坡度因子;C——植被覆盖因子,无量纲;P——水土保持措施因子,无量纲。

采用 Wischmeier 经验公式计算降雨侵蚀力 R。Wischmeier 等<sup>[9]</sup>经验公式,它以月平均、年平均降雨量为基础数据,计算公式为:

$$R_i=1.735 \times 10^{(1.5 \times \ln(\frac{P_i^2}{P})) - 0.8188} \quad (2)$$

式中:P——年降雨总量(mm),P<sub>i</sub>——每年 1—12 月第 i 月的降雨量(mm)。根据 2000 年和 2010 年的降雨数据,逐月率定降雨侵蚀力因子。

采用 Willams 等<sup>[10]</sup>在 EPIC(Erosion Productivity Impact Calculator)模型中土壤可蚀性因子 K 值计算方法,计算公式为:

$$K = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.256 S_d \left( 1 - \frac{S_i}{100} \right) \right] \right\} \times \left( \frac{S_i}{C_i + S_i} \right)^{0.3} \\ \times \left[ 1 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)} \right] \\ \times \left\{ 1 - \frac{0.7 \left( 1 - \frac{S_d}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{S_d}{100} \right) + \exp \left[ -5.521 + \left( 1 - \frac{S_d}{100} \right) \right]} \right\} \quad (3)$$

式中:S<sub>d</sub>——砂粒含量(%);S<sub>i</sub>——粉粒含量(%);C<sub>i</sub>——黏粒含量(%);C——有机质含量(%)。

地形因子 LS,是指在其他条件相同的情况下,特定坡面(特定坡度和坡长)的土壤流失量与标准径流小区土壤流失量之比值。其值为坡长因子 L 与坡度因子 S 的乘积,计算公式为:

$$LS=L \times S \quad (4)$$

利用马超飞<sup>[11]</sup>等采用线性像元分解法建立的 C 与植被覆盖度 F<sub>c</sub> 之间的关系式,分别计算植被覆盖因子,计算公式为:

$$\begin{cases} C=1 & F_c=0 \\ C=0.6508-0.3436 \log F_c & 0 < F_c < 88.3\% \\ C=0 & F_c > 88.3\% \end{cases} \quad (5)$$

式中:C——植被覆盖因子;F<sub>c</sub>——植被覆盖度。计算得到 2000 年和 2010 年 30 m×30 m 的 C 因子栅格图层。

2.2.2 水源涵养计算 水源涵养量通过降水量、蒸发量及土壤涵养水源能力等关系推算,其中蒸散发量还可以采用等价的径流量系数表达。此方法既能反映区域实际水源涵养量的平均状况,其动态分析又能反映水源涵养能力的变化。

$$W_i = \sum 10 \times A_i \times F_i \times K_i \times P_i \times \partial \quad (6)$$

式中:W<sub>i</sub>——研究区域的年水源涵养量(m<sup>3</sup>);A<sub>i</sub>——

土地利用类型面积( $\text{hm}^2$ ); $F_i$ ——植被覆盖度; $K_i$ ——发育度指数; $P_i$ ——年降雨量; $\rho$ ——径流系数。

2.2.3 生物多样性保护 采用 InVEST 模型中的生境质量指数来进行评价,计算公式如下:

$$Q_{xj} = H_j \left( 1 - \left( \frac{D_{xj}^2}{D_{xj}^2 + K^z} \right) \right) \quad (7)$$

式中: $Q_{xj}$ ——土地利用与土地覆盖  $j$  中栅格  $x$  的生境质量; $H_j$ ——土地利用与土地覆盖  $j$  的生境适合性; $D_{xj}$ ——土地利用与土地覆盖或生境类型  $j$  栅格  $x$  的生境胁迫水平; $K$ ——半饱和常数<sup>[12]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用变化

利用辽河流域 2000 年和 2010 年 2 期遥感影像,结合实地考察,解译出土地利用数据,分析得出辽河流域土地利用变化情况,见表 1 和表 2。选择研究区的野外实测 GPS 点和随机取样点对分类精度进行评价,两期影像整体分类精度大于 87%,kappa 系数大于 0.86,达到了研究所需的标准。

由表 1 可得,辽河流域以耕地为主,2010 年面积为 34 931.6  $\text{km}^2$  所占比例 52.8%。森林其次,面积

为 19 449.3  $\text{km}^2$  约占 29.4%。10 a 间主要增加土地利用类型为城镇,增加面积为 1 134.5  $\text{km}^2$ ;主要减少的土地利用为耕地,减少面积为 1 160.6  $\text{km}^2$ ;其他土地利用类型中草地、荒漠、灌丛有所增加,森林、湿地略有下降。由表 2 可知,从 2000—2010 年辽河流域土地利用主要转化类型是耕地向城镇的转变,面积为 1 038.9  $\text{km}^2$ ,占城镇增加面积的 91.57%;其次是耕地转化为湿地以及湿地转化为城镇,面积分别为 100.4  $\text{km}^2$ ,91.1  $\text{km}^2$ 。表明 10 a 来辽河流域城镇在不断扩张,但是并没有破坏生态用地。

表 1 2000—2010 年辽河流域土地利用变化

土地利用类型	2000 年		2010 年		净变化面积/ $\text{km}^2$
	面积/ $\text{km}^2$	比例/%	面积/ $\text{km}^2$	比例/%	
森林	19465.3	29.40	19449.3	29.40	-16.00
灌丛	2465.3	3.70	2465.8	3.70	0.50
草地	579.1	0.90	623.0	0.90	43.90
湿地	2328.6	3.50	2313.2	3.50	-15.40
耕地	36074.2	54.50	34913.6	52.80	-1160.60
城镇	5137.0	7.80	6271.5	9.50	1134.50
荒漠	113.4	0.20	131.9	0.20	18.50

表 2 2000—2010 年辽河流域土地利用转移矩阵

土地利用	2010 年						
	森林	灌丛	草地	湿地	耕地	城镇	荒漠
2000 年							
森林	19423.7	1.3	—	2.9	28	9	0.4
灌丛	0.1	2461.8	—	0.2	1.9	1.1	0.1
草地	0.1	1.4	577.5	—	—	0.1	—
湿地	1.5	0.1	2.3	2199.1	31.1	91.1	3.3
耕地	23.5	1.2	39.2	100.4	34851.1	1038.9	19.8
城镇	0.2	0.1	1.0	6.8	0.7	5127.5	0.6
荒漠	0.1	—	3.0	1.5	0.9	2.4	105.6

#### 3.2 景观格局变化

利用 Fragstat4.1 软件计算辽河流域全区域以及各生态类型的景观格局指数变化情况,如表 3 所示。结果表明:2000—2010 年,辽河流域总区域斑块总数略有增加,平均斑块面积和聚集度指数有所减少,景观格局整体趋于破碎。其中,2 个时期斑块数最多的土地利用类型为城镇,且 10 a 来斑块数有少量增加,平均斑块面积增加,边界密度和聚集度指数略变大,显示城镇类型的聚合度也有少许增加,景观斑块趋于集中或连片,表明城镇有发展的趋势。耕地的斑块数有所增加,平均斑块面积减少,边界密度略有增加,聚集度指数有少量下降,显示人类活动干扰日益增强,耕地有分散的发展趋势。湿地类型的斑块数 10 a 来有所增加的,而平均斑块面积减小,边界密

度和聚集度变化并不显著,表明 10 a 来湿地尽管有斑块数量上的增加,但整体格局依然延续,没有发生太大变化。其他土地利用类型 10 a 间景观格局状况基本处于稳定状态。

#### 3.3 植被覆盖度变化

植被作为陆地生态系统的主体,是联结土壤、大气和水分等要素的自然纽带,在全球变化中充当指示器的作用<sup>[13]</sup>。归一化植被指数(Normal Difference Vegetation Index,NDVI)与植被覆盖度、叶面积指数呈现显著正相关关系,而且对植被的生长势和生长量非常敏感,可以很好的反映地表植被的繁密程度<sup>[14]</sup>。是当前研究植被覆盖时空变化的最常用遥感数据。采用最大化合成法(Maximum Value Composite,MVC)将月最大化 NDVI 数据合称为年最大化 NDVI 序列,得

出辽河流域 2000—2010 年 NDVI 年际变化趋势图(图 1)。由图 1 可得,10 a 间,研究区内 NDVI 呈波动上升趋势( $R^2=0.4234, p<0.05$ )。运用差值法比较辽河流域 2000 年和 2010 年的植被覆盖,如附图 8

所示。结果表明:2000—2010 年,植被 NDVI 上升的区域占总面积的 80.23%,上升超过 20%的区域也占总面积的 15.25%,下降超过 20%的区域不足 2%。总体上,研究区内植被覆盖度显著提高。

表 3 2000—2010 年辽河流域景观格局变化

类型	斑块数 NP		平均斑块面积 MPS/hm <sup>2</sup>		边界密度 ED		聚集度指数 CONT	
	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年
森林	727	725	2681.54	2686.23	3.22	3.21	97.24	97.24
灌丛	677	677	363.4	362.8	0.89	0.89	94.1	94.1
草地	210	224	262.19	267.26	0.22	0.23	93.75	93.75
湿地	446	448	526.08	512.19	0.6	0.6	95.86	95.78
耕地	580	603	6214.18	5794.99	4.22	4.32	98.06	97.95
城镇	1279	1377	406.48	458.79	1.71	1.98	94.65	94.91
荒漠	43	52	211.79	202.88	0.04	0.04	93.86	93.75
总流域	3962	4106	1670.47	1612.07	5.44	5.63	97.28	97.19

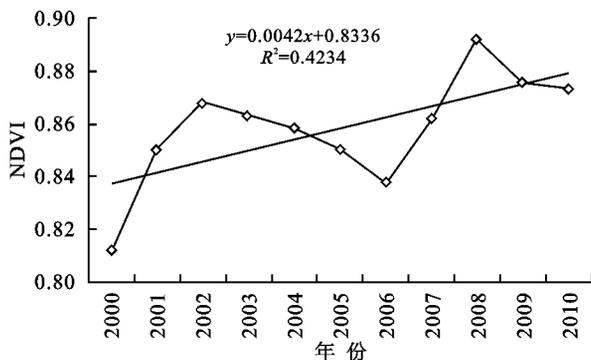


图 1 2000—2010 辽河流域 NDVI 变化

### 3.4 土壤侵蚀变化

辽河流域 2000 年和 2010 年土壤侵蚀类型以微

度和轻度侵蚀为主,平均土壤侵蚀模数分别为 45.23 t/(km<sup>2</sup>·a),143.83 t/(km<sup>2</sup>·a),低于水利部颁发的容许土壤流失量 200 t/(km<sup>2</sup>·a)<sup>[15]</sup>;2000 年和 2010 年微度侵蚀和轻度侵蚀的侵蚀范围面积之和都在 99%以上,总体上水土保持良好(表 4)。2000—2010 年,研究区共有 9 040.57 km<sup>2</sup> 面积发生不同程度的侵蚀类型变化,占研究区总面积的 13.81%;其中有 94.38%是低侵蚀级别向高侵蚀级别转移,而且剧烈侵蚀等级增加幅度较大。表明辽河流域土壤侵蚀有加刷的趋势。将计算结果与国家环保部卫星中心计算的全国土壤侵蚀结果进行比对,两个结果的空间分布与年际变化趋势一致。

表 4 2000—2010 辽河流域土壤侵蚀强度变化

侵蚀级别	侵蚀模数/ (t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	2000 年		2010 年		面积净 变化/km <sup>2</sup>
		面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	
微度	<200	60312.88	92.16	52632.5	80.43	-7680.38
轻度	200~2500	5086.06	7.77	12347.5	18.87	7261.44
中度	2500~5000	27.37	0.04	307.57	0.47	280.20
强烈	5000~8000	7.74	0.01	59.56	0.09	51.82
极强	8000~15000	5.49	0.01	40.07	0.06	34.58
剧烈	>15000	1.30	0.00	53.64	0.08	52.34

### 3.5 水源涵养变化

由表 5 可得,2000 年辽河流域生态系统总水源涵养量以及单位面积水源涵养量分别为 9.529×10<sup>9</sup> t 和 1.4397×10<sup>5</sup> t,2010 年分别为 1.1344×10<sup>10</sup> t 和 1.7136×10<sup>5</sup> t;较 2000 年相比,2010 年辽河流域总水源涵养量和单位面积水源涵养量分别增加 1.815×10<sup>9</sup> t 和 2.742×10<sup>4</sup> t。表明 2000—2010 年,辽河流域水源涵养能力有所增加。

### 3.6 生物多样性保护

基于土地利用图、与土地利用相关的生境可持续

性和生境受威胁密度,用 InVEST 生物多样性模型模拟了辽河流域 2000 年和 2010 年生境质量空间分布。基于 Natural Breaks 法将辽河流域生境质量等级空间分布划分为 3 等级<sup>[13]</sup>。由表 6 可得,辽河流域生境质量主要处在低等级,2010 年面积比例为 68.97%,其次是高等级,中等级所占比例最小。10 a 来,低等级生境质量面积减少,中、高等级生境质量面积都在增加,表明辽河流域生境质量整体有提高趋势。

表5 2000—2010年辽河流域水源涵养能力变化

水源涵养	2000年	2010年	变化量
总水源涵养量/ $10^8$ t	95.29	113.44	18.15
单位面积水源涵养量/ ( $10^3$ t · km <sup>-2</sup> )	143.94	171.36	27.42

表6 2000年、2010年辽河流域生物多样性保护变化

生境	2000年		2010年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
低等级	46229.70	69.87	45634.00	68.97
中等级	741.05	1.12	787.36	1.19
高等级	19187.94	29	19743.64	29.84

## 4 结论

(1) 辽河流域土地利用类型以耕地为主,10 a 间主要增加土地利用类型为城镇,面积主要减少的土地利用为耕地;土地利用主要转化类型是耕地向城镇的转变,面积为 1038.9 km<sup>2</sup>,其次是耕地转化为湿地以及湿地转化为城镇,面积分别为 100.4,91.1 km<sup>2</sup>。

(2) 景观格局方面,流域内斑块总数略有增加,平均斑块面积和聚集度指数有所减少,景观格局整体趋于破碎。其中,城镇景观斑块趋于集中或连片,城镇有发展的趋势;耕地受人类活动干扰日益增强,有分散的发展趋势。其他土地利用类型 10 a 间基本处于稳定状态。表明 10 a 来辽河流域城镇在不断扩张,但是并没有破坏生态用地。

(3) 2000—2010年,研究区年际 NDVI 呈现波动上升趋势,空间上 NDVI 上升的区域占总面积的80.23%,上升超过 20%的区域也占总面积的 15.25%,下降超过 20%的区域不足 2%。表明辽河流域植被覆盖度显著提高。

(4) 近 10 a 间,辽河流域总水源涵养量增加  $1.815 \times 10^9$  t;生境质量由低等级向高等级转变,生物多样性保护能力提高;虽然土壤侵蚀强度有所增强,但这一程度上受 2010 年降水量大幅增加影响。

本研究采用了较为成熟的模型方法对辽河流域十年来生态系统功能变化进行了评估。由于数据资料和技术方法的限制,本研究对辽河流域生态系统服务功能变化评估也只是粗略的、不完整的评估。但即使一个这样评估,也能够反映近十年来辽河流域生态

服务状况的变化趋势,给政策管理者和决策者提供流域生态文明建设的科学依据,对于流域的保护和有效的管理起到了重要的作用。

### 参考文献:

- [1] 胡克梅,刘伟玲,朱京海,等. 2000—2010年井冈山国家级自然保护区生态系统功能变化评估[J]. 水土保持研究,2014,21(1):219-223.
- [2] 欧阳志云,王效科. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报,1999,19(5):607-613.
- [3] 马志勇,沈涛,张军海,等. 基于植被覆盖度的植被变化分析[J]. 测绘通报,2007(3):45-48.
- [4] 张彪,李文华,谢高地,等. 北京市森林生态系统的水源涵养功能[J]. 生态学报,2015,35(11):423-428.
- [5] 韦红波,李锐. 我国植被水土保持功能研究进展[J]. 植物生态学报,2002,26(4):489-496.
- [6] 魏冉. 辽宁省辽河流域水生态功能三级区水生态安全评价[D]. 沈阳:辽宁大学,2013.
- [7] 高峰,华瑾,卢远,等. 基于 GIS 和 USLE 的钦江流域土壤侵蚀评估[J]. 水土保持研究,2014,21(1):18-22.
- [8] 钟德燕. 基于 USLE 模型的黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [9] Wischmeier W, Smith D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning with the Universal Soil Loss Equation (USLE) [M]. Agriculture Handbook NO. 537. Washington, DC: USDA-ARS,1978.
- [10] Williams J R, Renard K G, Dyke P T. EPIC: A new method for assessing erosion's effect on soil productivity[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1983, 38(5):381-383.
- [11] 马超飞,马建文. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量估算[J]. 水土保持通报,2001,21(4):6-9.
- [12] Swinton S M, Lupi F, Robertson G P, et al. Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits [J]. Ecological Economics, 2007, 64(2):245-252.
- [13] 孙红雨,李兵. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J]. 遥感学报,1998,2(3):204-210.
- [14] 王丽霞,任志远,任朝霞,等. 延河流域 NDVI 与主要气候因子的时空相关性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011,25(8):88-93.
- [15] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准[S]. SL190-2007,2008.