

基于地统计学的区域生态服务价值空间分异规律研究

张晓楠¹, 宋宏利¹, 李振杰²

(1. 河北工程大学 资源学院, 河北 邯郸 056038; 2. 河北省地矿局石家庄综合地质大队, 石家庄 050081)

摘要:以 1997 年和 2007 年 Landsat TM 影像解译数据为基础,采用空间格网作为表达单元,分别从空间分布和空间结构两个角度分析了邯郸市生态系统服务价值的空间分异规律。结果表明:1997—2007 年 10 a 间邯郸市的生态系统服务价值总体比较稳定,空间分布格局基本未发生改变,通过极值分析表明 10 a 间区域的生态系统服务价值呈下降态势;邯郸市生态系统服务价值存在明显的地域性差异,其中高值区主要分布于西部山地、丘陵地带,而低值区则主要分布于中部平原城镇聚集区;从空间结构的角度分析,邯郸市的生态系统服务价值存在明显的方向性结构特征,不同方向的空间自相关程度相异、块金效应和空间异质性程度。

关键词:生态系统服务价值;空间分异;地统计学;空间格网

中图分类号:F301; F224

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)06-0168-04

Study on Spatial Distribution of Regional Ecosystem Service Value Based on Geostatistics

ZHANG Xiao-nan¹, SONG Hong-li¹, LI Zhen-jie²

(1. College of Resources, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei

056038, China; 2. Shijiazhuang Comprehensive Geological Brigade of Hebei

Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: Based on the Landsat TM images of 1997 and 2007, the spatial grid was used to display the ecological service value from the view of spatial distribution and spatial structure. The result showed that the ecological service value of Handan was stable in general from 1997 to 2007, but according to the extreme value analysis, the ecological service value showed a descent trend, which might be induced by the increase of construction land and the decrease of the cropland and water body. From the view of spatial structure, the ecological service value displayed the obvious spatial heterogeneous, the spatial relative strength, nugget effect and spatial heterogeneous were different in different directions.

Key words: ecological service value; spatial heterogeneous; geostatistics; spatial grid

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用,包括对人类生存及生活质量有贡献的生态系统产品和生态系统功能^[1-2],是人类生存和发展的物质基础和基本条件。由于土地利用类型与生态系统状态关系密切,因此研究 LUCC 下的区域生态服务价值演变具有重要意义。近年来,我国学者在生态服务价值方面做了大量研究,取得了一定成果。例如,张明阳等^[3]研究了桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征,表明该区域生态服务价值

随高程、岩石类型、土壤类型分异明显,并具有相应的空间尺度特征;孙慧兰等^[4]研究了新疆伊犁河流域生态服务价值对土地利用变化的响应,探讨了伊犁河流域 1985—2005 年土地利用和生态系统服务价值的变化特征;李保杰等^[5]研究了矿区土地利用变化对生态服务价值损益的影响;宋宏利等^[6]研究了冀南区域土地利用变化对区域生态服务价值的影响;吴海珍等^[7]研究了内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响。已有研究大都从整体上评价土地利用变化对区域生态服务价值的影响,但事实上,生态服务价

收稿日期:2012-03-12

修回日期:2012-05-25

资助项目:邯郸市科学技术研究与发展计划项目“基于多源遥感数据的矿区土地利用变化及其生态效应研究”(1230201108-2);国土环境与灾害监测国家测绘局重点实验室开放基金资助项目(LEDMD2011B04)

作者简介:张晓楠(1981—),女,河北深州人,硕士研究生,讲师,主要研究方向为地理信息系统与国土资源遥感。E-mail:zx2000@163.com

值及其变化具有空间异质性,但关于该方面的研究鲜有报道。鉴于此,本文采用空间网格作为基本表达单元,以地质统计学技术为手段,在 RS 和 GIS 技术支持下研究邯郸市土地利用类型及变化对区域生态服务价值空间分异的影响,旨在为局部尺度土地的合理利用及生态环境改善提供合理依据。

1 研究区概况

邯郸市位于河北省最南部,太行山南段东麓和华北平原南部,地处东经 113°28′—115°28′,北纬 36°04′—37°01′,属典型的中纬度地区。与晋、鲁、豫三省接壤,总面积 12 000 km²,其中市区面积 457 km²,总人口 849.9 万人,现辖 4 区 1 市 14 县。邯郸市地势总体西高东低,地面纵坡为 1/2 500~1/5 000,自西向东阶梯状分布着山地、丘陵、盆地、高平原、低平原,分别约占全市总面积的 14.0%,14.6%,7.0%,28.8%,35.6%。

2 数据来源与分析方法

2.1 数据来源

研究采用的基础数据为邯郸市 1997 年和 2007 年 Landset TM 遥感影像(空间分辨率为 30 m),辅助数据为邯郸市 1:5 万地形图、2007 年邯郸市行政区划图(比例尺为 1:10 万)、1994 年和 2006 年邯郸市土地利用现状图(比例尺为 1:1 万)及相关统计数据。根据相关资料^[8]及实地情况,将邯郸市土地利用

类型划分为:耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 大类。遥感影像采用 UTM 横轴墨卡托投影,利用 GPS 采集的控制点对影像进行精几何校正,校正精度不大于 0.5 个像元。经图像融合、增强处理后,利用邯郸市区域行政边界对处理后的影像进行裁剪,采用目视解译结合计算机监督分类得到 1997 年、2007 年邯郸市土地利用分类遥感图像。

2.2 研究方法

2.2.1 生态服务价值计算 Costanza^[9]、谢高地^[10]、段瑞娟^[11]等人分别提出了针对不同尺度、不同地域的生态服务价值计算方法,但生态服务价值具有区域性特征,不同的区域具有不同的土地利用生态结构,因此,结合已有研究,本文采用偿付意愿法来估算生态系统服务价值^[12]。

结合邯郸市土地利用类型结构及区域特征建立了适合于本区域生态系统服务价值的计算公式(公式 1)和土地利用类型生态服务价值对照表(表 1)。通过表 1 可知,邯郸区域生态服务价值除了建设用地外,与段瑞娟等^[11]提出的北京区域生态服务价值最为接近。

$$E=\sum_{i=1}^6A_i\times C_i$$
 (1)

式中: E ——研究区生态系统服务总价值(亿元); A_i ——研究区第 i 中土地利用类型的分布面积(km²); C_i ——单位面积土地利用类型 i 的生态系统服务价值系数。

表 1 土地利用类型及生态系统服务价值对照表 万元/km²

| 土地利用类型 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 | 未利用地 |
|----------|--------|--------|-------|---------|----------|------|
| 生态系数类型 | 农田 | 森林 | 草地 | 水体、湿地 | 荒漠 | 荒漠 |
| 生态价值系数 1 | 7.64 | 166.58 | 20.25 | 847.73 | 0.00 | 0.00 |
| 生态价值系数 2 | 61.14 | 193.34 | 64.05 | 1285.77 | 3.71 | 3.71 |
| 生态价值系数 3 | 231.64 | 297.71 | 48.97 | 253.97 | -1206.28 | 3.71 |
| 生态价值系数 4 | 146.39 | 219.21 | 44.42 | 1053.25 | 0.00 | 3.71 |

注:系数 1 为 Costanza^[9]提出的价值系数,系数 2 是谢高地等^[10]提出的价值系数,系数 3 是段瑞娟等^[11]提出的价值系数,系数 4 为本文计算所得。

为计算生态服务价值空间分布特征,本文采用 1 km×1 km 空间格网覆盖整个研究区域,然后利用 ArcGIS 软件的交叉表分析得出每个格网的土地利用类型面积,在此基础上根据公式(1)将格网内各种土地利用类型生态服务价值累加,计算每个格网的生态服务总价值,最后通过符号分级显示区域生态服务价值的空间分布特征。

2.2.2 地统计学计算原理 地统计学是以具有空间分布特点的区域化变量理论为基础,研究自然现象的空间变异与空间结构的一门学科^[13],以变异函数(半方差)作为主要的分析方法。变异函数是判别和分析

区域性变量结构性、随机性和变异性的工具^[14],其计算公式为:

$$r(h)=\frac{1}{2n(h)}\sum_{i=1}^{n(h)}[Z(x_i+h)-Z(x_i)]^2$$
 (2)

式中: $r(h)$ ——变量样本点距为 h 的半方差; h ——步长; $n(h)$ ——变量样本点的点对数; $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ ——区域化变量在 x_i 和 x_i+h 处的数值。变异函数分析通常以对半变异函数图的模型拟合为基础,所考查的主要参数包括: C_0 (块金值)、 C_0+C (基台值)、 $C_0/(C_0+C)$ (块金方差与基台值之比)、 $C/(C_0+C)$ (空间结构比)、 a (变程)。当 h 较小时,变量在两点

$(x, x+h)$ 处的观测值 $z(x)$ 与 $z(x+h)$ 具有某种程度的相关性, 且这种相关性随着 h 的增大而减小, 当 h 达到一定程度及步长 a 时, 两点不再具有相关性; $C_0 + C$ (基台值) 阐明了区域变量的最大变异程度, C 则表示空间自相关部分引起的空间异质性; $C_0 / (C_0 + C)$ (块金方差与基台值之比) 反映了随机部分引起空间异质性占总空间异质性的比重; $C / (C_0 + C)$ (空间结构比) 表示结构因素对总空间异质性的贡献程度。

地统计半方差函数适合于处理以空间离散点方式存储的空间数据, 上述所得生态服务价值以格网为单元, 表现为面栅格数据, 因此需要将其转换为以格网中心点表示的点矢量数据, 转换成功后便可将其作为输入数据, 通过分析南—北、东—西、东南—西北、东北—西南 4 个方向的半方差函数模型拟合图及相关参数, 阐明生态系统服务价值的空间分异规律。

3 结果与分析

3.1 生态服务价值空间分布

据附图 5 可知, 1997—2007 年间邯郸市生态服务价值在空间分布上并未发生剧烈改变, 仍保持着较稳定的空间分布格局, 其中生态服务价值的典型高值区域主要分布于邯郸市的岳城水库及其周边区域; 高值区主要位于邯郸市西部地区及中部零星区, 这主要是因为该区域地形较高, 据邯郸市生态城市建设规划需要, 西部山地丘陵为生态屏障区, 起到防风固沙、调节气候、保护环境、保持水土、水源涵养、构成绿色生态体系的目的, 这一地区进行退耕还林种植了大量树木, 形成了绿色生态屏障为主体的林地, 林地在生态服务价值计算模型中所占正向权重较大, 从而使该区域生态服务价值最高; 生态服务价值较低的区域主要分布于中部地区, 该区域属于城镇集结区, 城镇及农村居民用地呈聚集状分布, 工业设施完善, 而城镇聚落用地在计算过程中的权重较低, 导致该区域指数偏低; 生态服务价值中等的区域主要分布于邯郸市北部、东部及南部边缘地区, 这主要是因为该区域地势平坦, 远离城市中心区, 土地利用类型以农用地为主, 同时该区域水系较多, 导致该区域生态服务价值介于高低之间。

3.2 基于地统计的生态服务价值空间结构分析

3.2.1 统计特征分析 按照经典统计方法, 对 1997 年和 2007 年邯郸市生态服务价值及土地利用结构进行统计分析(表 2—3), 结果表明: 1997—2007 年 10 a 间, 邯郸市的生态系统服务价值呈下降态势, 生态系统服务价值由 1997 年的 1 095.8 下降为 2007 年的 1 053.3, 均值由 1997 年的 56.885 降为 2007 年的

56.874, 标准差则由 1997 年的 68.289 降为 2007 年的 68.207, 这说明 2007 年的生态服务价值比 1997 年更加向均值区域靠拢, 差距缩小。这主要是因为耕地面积、草地、水域面积减少, 而建设用地大幅度增加, 导致邯郸市生态服务价值降低, 尽管林地面积有较大幅度增加, 促使生态服务价值增高, 但其增高幅度难以弥补其他土地类型变化所导致的生态服务价值下降, 因此总体呈下降趋势。表 2 表明, 1997 年和 2007 年的邯郸市生态系统服务价值均呈偏态分布, 因此在进行地统计分析前需对原始数据进行变换, 使数据满足高斯正态分布。

表 2 邯郸市 1997 年、2007 年生态服务价值统计

| 年份 | 最大值 | 最小值 | 均值 | 标准差 | 中值 | 偏度 | 峰态 |
|------|--------|-----|--------|--------|--------|-------|--------|
| 1997 | 1095.8 | 0 | 56.885 | 68.289 | 46.693 | 4.194 | 50.604 |
| 2007 | 1053.3 | 0 | 56.874 | 68.207 | 46.714 | 4.175 | 50.116 |

表 3 邯郸市 1997 年、2007 年土地利用类型结构

| 土地利用类型 | 1997 年 | | 2007 年 | | 变化率/% |
|--------|--------------------|------|--------------------|------|-------|
| | 面积/km ² | 比例/% | 面积/km ² | 比例/% | |
| 耕地 | 5800.62 | 58.5 | 5385.72 | 54.7 | -8 |
| 林地 | 1811.82 | 18.2 | 2456.15 | 24.9 | 36 |
| 草地 | 747.41 | 7.5 | 144.90 | 1.5 | -81 |
| 水域 | 350.75 | 3.5 | 228.75 | 2.3 | -35 |
| 建设用地 | 494.49 | 5.1 | 746.85 | 7.6 | 51 |
| 未利用地 | 707.86 | 7.2 | 886.67 | 9.0 | 25 |

3.2.2 生态系统服务价值空间变异结构分析 据图 4 及表 4, 邯郸市生态系统服务价值的空间结构在东—西、南—北、东北—西南、西北—东南 4 个方向存在明显的方向性特征, 其中东—西和南—北方向的块金效应较为相似, 差值仅为 0.01, 而东北—西南和西北—东南两个方向的块金效应较为相似, 差值为 0.19, 这表明东—西和南—北、东北—西南和西北—东南两组方向上的误差影响基本相同。变程反映了区域化变量在空间上的相关范围, 图 1 表明生态系统服务价值的相关范围在 4 个方向上存在较明显差异, 大小顺序为西北—东南 < 南北 < 东北—西南 < 东—西, 分别为 23.3, 32.0, 33.6, 37.1 km, 在东—西方向, 生态系统服务价值具有大尺度的空间相关性, 这说明该方向的土地利用类型呈聚集分布, 具有较好的空间均质性; 西北—东南方向具有最小的变程, 说明在该方向的生态服务价值只在局部尺度具有相关性, 这是因为该方向的土地利用景观呈现出较强的破碎性, 空间异质性严重。

$C_0 / (C_0 + C)$ 是反映区域化变量空间异质性程度的重要指标, 该比值反映了在空间变异的成分中区域因素(自然因素)和非区域因素(人为因素)的主导作用。从表 4 可知, 生态服务价值在 4 个方向的比值顺

序为南—北<东—西<西北—东南<东北—西南,分别为 0.21,0.28,0.32,0.34,4 个方向均不超过 0.5,反映出邯郸市生态系统服务价值在所研究的尺度上

具有较强的空间自相关格局,目前虽然受到一些地形、土壤类别等小尺度因素的影响,但还没有达到破坏其原有空间格局的程度。

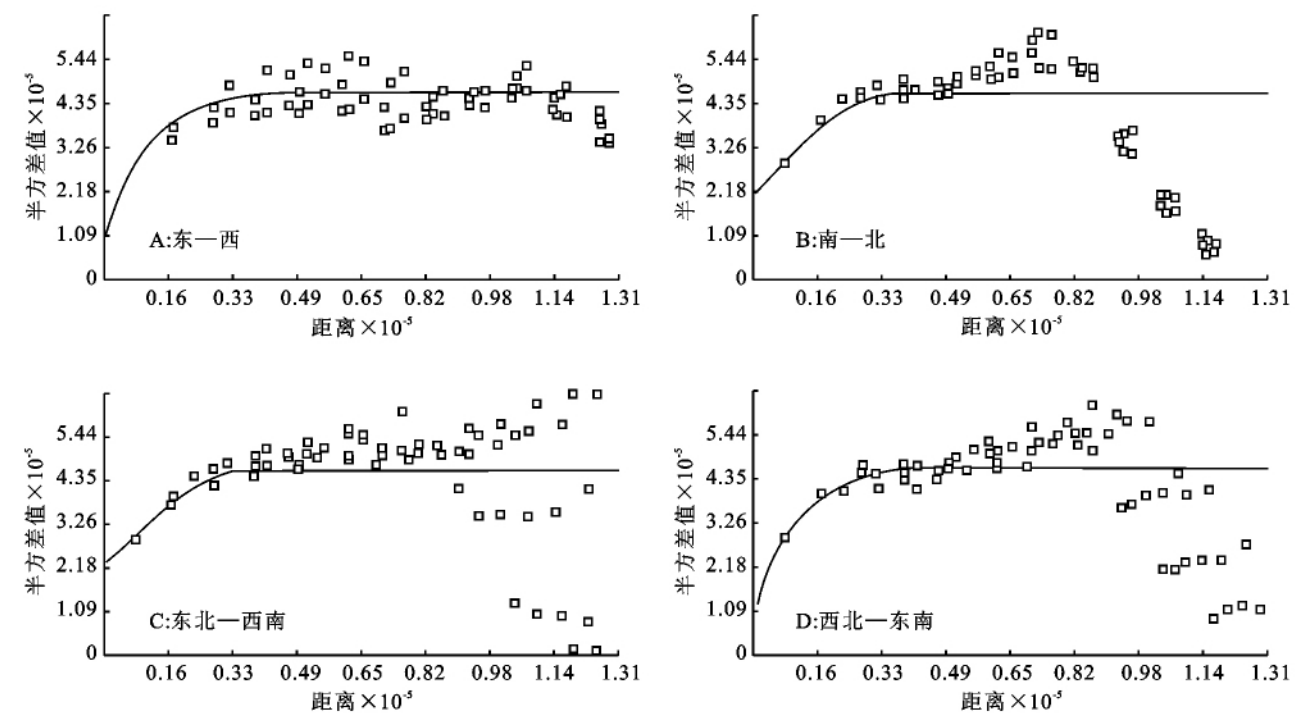


图 1 邯郸市生态系统服务价值多方向空间结构
表 4 1997 年邯郸市生态系统服务价值空间结构参数

| 方向 | 模型 | C_0 | C | C_0+C | $C_0/(C_0+C)$ | $C/(C_0+C)$ | 变程/km |
|-------|-------------|-------|------|---------|---------------|-------------|-------|
| 东—西 | Exponential | 0.96 | 2.44 | 3.44 | 0.28 | 0.72 | 37.1 |
| 南—北 | Exponential | 0.97 | 3.68 | 4.65 | 0.21 | 0.79 | 32.0 |
| 东北—西南 | Circular | 2.24 | 4.42 | 6.66 | 0.34 | 0.66 | 33.6 |
| 西北—东南 | Spherical | 2.05 | 4.41 | 6.46 | 0.32 | 0.68 | 23.3 |

4 结 论

(1) 1997—2007 年 10 a 间邯郸市的生态系统服务价值总体比较稳定,空间分布格局基本未发生改变,但通过极值分析,发现 10 a 间区域的生态系统服务价值呈下降态势,这主要是由耕地面积、草地、水域面积减少,而建设用地大幅度增加导致邯郸市生态服务价值降低,尽管林地面积有较大幅度增加,促使生态服务价值增高,但其增高幅度难以弥补其他土地类型变化所导致的生态服务价值下降,因此总趋势呈下降态势;

(2) 邯郸地区生态服务价值空间异质性显著,其中高值区域主要集中于邯郸市西部山区、半山区地带,这主要是因为根据邯郸市生态城市建设规划需要,西部山地丘陵为生态屏障区,起到防风固沙、调节气候、保护环境、水土保持、涵养水源、构成绿色生态体系的目的,这一地区退耕还林,种植了大量树木,形成了绿

色生态屏障为主体的林地,土地利用类型以生态价值贡献较大的林地为主;低值区域主要分布于城乡交错及城镇建成区,呈现出云簇状分布;中等价值区域呈现条带状分布,穿插于高低指数之间,主要分布于城乡过渡地区。总体来讲,邯郸地区生态服务价值呈现出从中间向四周特别是向西北部呈放射性增加趋势。

(3) 地统计学研究表明,邯郸市生态服务价值的分布表现出显著的方向性,尤其在东—西和西北—东南两个方向,存在明显的地带分布差异,西北—东南方向的生态服务价值存在小尺度的相关性,即景观的分布表现出一定的破碎性;生态服务价值在东西方向表现出大尺度的相关性,景观分布表现出均质性。同时,邯郸市生态系统服务价值在所研究的尺度上具有较强的空间自相关格局,目前虽然受到一些地形、土壤类别等小尺度因素的影响,但还没有达到破坏其原有空间格局的程度。

(下转第 175 页)

数量及其相互配合协调的程度。中宁地区降水年际、年内变化大会造成光、温、水各三素匹配组合差异。即使是温度生产潜力逐年增加,但降水逐渐减少的趋势势必影响区域气候生产潜力的增幅。因此,气候的暖干化趋势对研究区未来农业发展提出了严峻挑战。参照以上研究及气候变化趋势预测,也即是说当中宁地区的气候呈“暖干型”时,中宁地区的气候生产潜力亦将趋于下降。为此,研究区必须科学地调整农业生产格局,趋利避害,因地制宜,为充分利用气候资源、提高生产力水平及农业可持续发展创造有利环境。

3 结论

(1) 根据 Miami 模型对中宁县温度生产潜力(Y_t)与降水生产潜力(Y_r)平均状况进行分析。56 a 来温度生产潜力呈显著增加趋势,而降水生产潜力呈明显下降趋势。

(2) 受气温和降水量等主要气候因素的影响,56 a 来中宁地区植被气候生产潜力在波动中呈现出减少的趋势,从 1953 年的 $5\,047.29\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 下降至到 2008 年的 $3\,122.27\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,近 56 a 的平均值为 $4\,809.17\text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

(3) 年降水量与气候生产潜力呈极显著线性相关,与年平均气温没有显著相关性。说明降水是中宁

地区气候生产潜力最主要的限制因子。

参考文献:

- [1] 侯西勇. 1951—2000 年中国气候生产潜力时空动态特征[J]. 干旱区地理, 2008, 31(5): 723-729.
- [2] 肖国举, 张强, 王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1877-1885.
- [3] 陶波, 李克让, 邵雪梅, 等. 中国陆地净初级生产力时空特征模拟[J]. 地理学报, 2003, 58(3): 372-380.
- [4] 李栋梁, 吕兰芝. 中国农牧交错带的气候特征与演变[J]. 中国沙漠, 2002, 22(5): 483-488.
- [5] Edward B B. Links between economic liberalization and rural resource degradation in the developing regions[J]. Agricultural Economics, 2000, 23(3): 299-310.
- [6] 姚玉璧, 王毅荣, 张存杰, 等. 黄土高原作物气候生产力对气候变化的响应[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(1): 101-106.
- [7] 郭小芹, 刘明春. 河西走廊近 40 a 气候生产潜力特征研究[J]. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1323-1329.
- [8] 张永红, 葛徽衍. 陕西省作物气候生产力的地理分布与变化特征[J]. 中国农业气象, 2006, 27(1): 38-40.
- [9] 赵俊芳, 郭建平, 张艳红, 等. 气候变化对农业影响研究综述[J]. 中国农业气象, 2010, 3(2): 200-205.
- [10] 李新周, 刘晓东, 马柱国. 近百年来全球主要干旱区的干旱化特征分析[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 97-103.

(上接第 171 页)

参考文献:

- [1] Daily G C. Nature Services: Societal Dependence on Natural Ecosystem [M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [2] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- [3] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 等. 桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征[J]. 生态学报, 2011, 31(14): 3947-3955.
- [4] 孙慧兰, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 新疆伊犁河流域生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 887-894.
- [5] 李保杰, 顾和和, 纪亚洲, 等. 基于 RS 和 GIS 的矿区土地利用变化对生态服务价值损益影响研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 123-128.
- [6] 宋宏利, 张晓楠, 伦更永. 冀南土地利用变化对区域生态服务价值的影响分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 236-238.
- [7] 吴海珍, 阿如旱, 郭田保, 等. 基于 RS 和 GIS 的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理科学, 2011, 31(1): 110-115.
- [8] 刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J]. 遥感学报, 1997, 1(3): 225-230.
- [9] Costanza R, d'Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [10] 谢高地, 张锦锂, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
- [11] 段瑞娟, 郝晋珉, 张洁瑕. 北京区位土地利用与生态服务价值变化研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 21-28.
- [12] 窦闻, 史培军, 陈云浩, 等. 生态资产评估静态部分平衡模型的分析与改进[J]. 自然资源科学, 2003, 18(5): 626-634.
- [13] Matheron G. Principles of geostatistics[J]. Economic-Geology, 1963, 58(8): 1246-1266.
- [14] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.