

# 哈尔滨市生态资产遥感测量评估

侯淑涛, 郑绪玲, 邸延顺, 王语檬, 于晓雷

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:**生态资产是生态系统生物资源直接价值及生态服务间接价值的综合表征,是国民经济和社会可持续发展的物质基础和保障。综合遥感与地理信息技术,利用遥感影像、土壤、气象及 MODIS 生态环境数据,构建生态资产遥感测量评估指标体系,评估分析哈尔滨市 2000—2010 年生态资产变化及时空分布状况。结果表明:1) 时间变化表明:两期生态资产总价值降低了 21.03 亿元,单位面积价值减少了 3.96 万元/(km<sup>2</sup>·a);2) 空间分布表明:两期哈尔滨市的生态资产总价值分布都呈现由西向东逐渐增加的态势,其中东部地区最高,西部地区最低;3) 生态资产价值构成表明,在两期的生态资产总价值构成中,均遵循相同的规律,即土壤保持价值>涵养水源价值>空气质量调节价值>有机质生产价值>养分循环价值。研究成果可以很好地反映区域生态环境质量及其变化状况,可为区域可持续发展评价、生态环境建设规划提供重要依据。

**关键词:**生态资产; 遥感; 价值评估; 时空变化; 哈尔滨市

中图分类号:F062.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0305-05

## Evaluation of Ecological Assets in Harbin City by the Quantitative Method of Remote Sensing

HOU Shutao, ZHENG Xuling, DI Yanshun, WANG Yumeng, YU Xiaolei

(College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Ecological asset is a comprehensive characterization of the biological resources direct value of ecological system and the indirect value of ecological services, which is the material basis and guarantee of the national economic and social sustainable development. This paper integrated the remote sensing and geographic information technology to build the ecological asset remote sensing measurement evaluation index system, to evaluate ecological assets of Harbin from 2000 to 2010, and to analyze the change of the ecological asset and the status of the spatiotemporal distribution using remote sensing images, soil, climate and ecological environment of MODIS data. The conclusions are as follows. 1) Temporal changes showed that all the ecological asset values of Harbin city in 2000 and 2010 had reduced 21.03 billion Yuan, the per unit area value had reduced 39.6 thousand Yuan/(km<sup>2</sup>·a). 2) The spatial distribution showed that the distribution of Harbin ecological asset value gradually increased from the west to the east in 2000 and 2010. Among them, the eastern region was the highest, and the western region was the lowest; 3) the composition of ecological asset value showed that the order was soil conservation value>water conservation value>air quality adjustment value>organic production value>nutrient cycling value in the structure of the ecological asset value in two periods following the same rule. The research results can well reflect the status of regional ecological environment quality and its changes, it can provide important basis for regional sustainable development evaluation and eco-environment construction planning.

**Keywords:** ecological asset; remote sensing; value evaluation; change of time and space; Harbin

近几十年来,由于生态环境剧变引起全球变化,给人类的生存和发展带来了极大的压力,威胁着人类的

安全,生态资产研究也成为国内外研究的热点之一。生态环境的可持续发展与土地生态安全存在着必然联

系<sup>[1]</sup>,定量估算土地利用变化对生态服务价值损益,为自然生态系统可持续发展提供科学依据<sup>[2]</sup>。生态资产是在理论与现实的双重推动下产生的,是生态系统生物资源直接价值及生态服务价值的综合表征。生态资产包括一切能为人类提供服务和福利的自然资源和生态环境,其服务和福利的形式包括有形的、实物形态的资源供给,也包括隐形的或不可见的、或非实物形态的生态服务。Turner<sup>[3]</sup>在讨论国家债务时,首次提出了自然资本(Natural Capital)的概念,并指出耗竭自然资源资本将会损耗偿还债务能力。国内外诸多学者对准量化生态环境及生物资源的方法进行了仔细研究,已有学者建议将生态资产核算纳入国民经济核算体系<sup>[4]</sup>,Costanza<sup>[5]</sup>,朱文泉<sup>[6]</sup>,潘耀忠<sup>[7]</sup>,李京<sup>[8]</sup>,陈仲新<sup>[9]</sup>等均运用遥感技术建立生态资产模型,保守估算大尺度范围的生态资产价值,为后人提供了重要的经验借鉴,但对小尺度生态资产评估存在一定误差。王红岩<sup>[10]</sup>,陈明辉<sup>[11]</sup>等结合前辈学者的经验,估算了县域生态资产总价值,为小尺度生态资产价值评估提供了一定的经验借鉴。本研究以小尺度范围为基准,估算哈尔滨市生态资产价值,为区域可持续发展、生态环境建设规划提供重要依据。

## 1 研究区概况

哈尔滨市位于东经 125°42′—130°10′、北纬 44°04′—46°40′,黑龙江省省会。全市总面积 5.31 万 km<sup>2</sup>;属半湿润大陆季风性气候,年平均降水深度为 406 mm;森林资源较为丰富;全市共有 9 个土类、21 个亚类、25 个土种;水资源总量为 66.07 亿 m<sup>3</sup>。全年实现地区生产总值 4 550.1 亿元,三次产业结构为 11.1 : 36.1 : 52.8,第一、二、三产业对地区生产总值增长的贡献率分别为 9.9%,42.2%和 47.9%,人均地区生产总值 45 810 元。十县(市)实现地区生产总值 1 538.3 亿元,占全市地区生产总值的 33.8%,县域经济对全市经济增长的贡献率为 40.9%。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据来源

本文研究需要遥感影像数据、土壤数据、气象数据、矢量边界数据四种类型数据资料。DEM 为 90 m 分辨率的 SRTM DEM 高程数据;MODIS 数据主要包括 1 km 分辨率的植被净初级生产力(NPP)和 500 m 分辨率的植被覆盖度( $f_g$ )数据;遥感影像采用 30 m 分辨率的 Landsat TM 数据;土壤数据来自 1 : 100 万中国土壤数据库;气象数据来自中国气象数据共享服务网;矢量边界数据来自国家基础地理信息系统

1 : 400 万数据。

### 2.2 生态资产估算方法

一定区域的生态系统服务价值是在某一时期内该区域中各类生态系统所提供的不同生态系统服务价值之和。由于生态系统服务的价值量受时间及地域的影响,同类型生态系统服务价值亦不同,区域生态系统服务总价值可表示为:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i \quad (1)$$

式中: $S$ ——生态系统服务总价值; $S_i$ ——第  $i$  种生态系统的服务价值总和。基于遥感技术  $S_i$  的计算方法如下:

$$S_i = \sum_{q=1}^p \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m V_q(i, j) \times r(i, j) \right] \quad (2)$$

式中: $q=1, 2, \dots, p$ , 代表该生态系统的第  $q$  种生态系统服务; $i$ ——遥感影像的行数, $j$ ——遥感影像的列数; $V_q(i, j)$ ——第  $(i, j)$  象元第  $q$  种生态系统服务价值量; $r(i, j)$ ——调整系数。

(1) 调整系数  $r(i, j)$ 。本研究借鉴李京<sup>[8]</sup>等人的评估方法,以植被净初级生产力和植被覆盖度两个指标建立调整系数  $r$  作为生态状况评价参数,不同象元价值量的动态变化可表达为:

$$r(i, j) = \frac{\frac{NPP(i, j)}{NPP_{mean}} + \frac{f_g(i, j)}{f_{g mean}}}{2} \quad (3)$$

式中: $NPP(i, j)$ ,  $f_g(i, j)$ ——第  $(i, j)$  象元的植被净初级生产力和植被覆盖度; $NPP_{mean}$  和  $f_{g mean}$ ——第  $i$  类生态系统的植被净初级生产力和植被覆盖度的均值。

(2) 有机质生产价值  $V_{yz}$ 。根据能量替代法,利用标煤的市场价格估算有机质生产价值为:

$$V_{yz} = 1.23 \times NPP \times V_m \quad (4)$$

式中: $V_{yz}$ ——有机质生产价值; $NPP$ ——研究区生态系统某年份所生产的有机质总量(g); $V_m$ ——标煤的单位市场价格(元)。参照市场调查数据,本文取 658 元/t。

(3) 养分循环价值  $V$ 。本研究以植被净初级生产力为基础,评估氮、磷、钾三种营养元素的循环价值。

$$V = V_N + V_P + V_K \quad (5)$$

式中: $V$ ——研究区某年的养分循环价值(元); $V_N$ ——研究区某年氮元素的吸收价值(元); $V_P$ ——研究区某年磷元素的吸收价值(元); $V_K$ ——研究区某年钾元素的吸收价值(元)。

以氮元素为例,单项元素吸收价值的计算方法为:

$$V_N = NPP \times \mu_1 \times \mu_2 \times N \quad (6)$$

式中: $NPP$ ——研究区某年的植被净初级生产力值(g); $\mu_1$ ——氮元素在不同的生态系统有机物中的分

配率; $\mu_2$ ——纯氮( $\text{CON}_2\text{H}_4$ )折合为化肥的比率为 60/28。相应的纯磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )、纯钾(Kcl)折合比例分别为 62/142,39/74.5。N 为 2000 年、2010 年氮肥均

价,分别为 1 550,2 100 元/t。  
对于不同生态系统,参数  $\mu_1$  的取值有所不同,具体参见表 1。

表 1 不同生态系统的营养元素在有机物中的分配率

营养元素	林地	草地	湿地	建设用地	耕地
N	0.013294	0.013289	0.004204	0.013203	0.013288
P	0.000491	0.000093	0.000901	0.000087	0.000090
K	0.008904	0.008908	0.001820	0.008874	0.008915

注:营养物质分配率和机会成本单位分别为 g/g 和元/( $\text{hm}^2\cdot\text{a}$ )<sup>[12]</sup>。

(4)空气质量调节价值。空气质量调节价值较难商品化,可间接计算其价值<sup>[13]</sup>。本研究依据光合作用与呼吸作用原理,根据影子工程法确定工业制氧价格来评估释放  $\text{O}_2$  的价值,并采用成本替代法以瑞典碳税率的单位价值来替代  $\text{CO}_2$  价值,依此确定的气候调节间接价值如下:

$$V_{\text{sfo}}=1.2\times\text{NPP}\times V_{\text{O}_2}\tag{7}$$

$$V_{\text{xsc}}=1.62\times\text{NPP}\times V_{\text{CO}_2}\tag{8}$$

式中: $V_{\text{sfo}}$ ——释放  $\text{O}_2$  的价值; $V_{\text{xsc}}$ ——气候调节的价值; $\text{NPP}$ ——研究区生态系统某年份所生产的有机质总量(g); $V_{\text{O}_2}$ ——工业制氧单位价格,根据市场调查可知,工业制氧成本为 900 元/t; $V_{\text{CO}_2}$ ——依据瑞典碳税率所换算出的  $\text{CO}_2$  单位质量价格,为 351.5 元/t。

(5)涵养水源价值  $V_{\text{hy}}$ 。本研究根据影子工程法,以三峡水库为例,由其单位成本推算我国每建造  $1\text{ m}^3$  容积水库所耗费的成本来估计哈尔滨市涵养水源的服务价值。

$$V_{\text{hy}}=Q_{\text{w}}\times V_{\text{sk}}\times S\tag{9}$$

式中: $V_{\text{hy}}$  为涵养水源的服务价值; $Q_{\text{w}}$ ——研究区生态系统某年份的单位面积降水存量( $\text{m}^3/\text{m}^2$ ); $V_{\text{sk}}$ ——建造  $1\text{ m}^3$  水库所需的成本 4.705 元/ $\text{m}^3$ ;  $S$ ——研究区面积( $\text{m}^2$ )。

(6)土壤保持价值  $V_{\text{tr}}$ 。生态系统对土壤的保护主要体现在减少表层土壤损失、保护土壤肥力、防止泥沙淤积三个方面<sup>[14]</sup>,评估土壤保持的价值  $V_{\text{tr}}$  可表达为:

$$V_{\text{tr}}=V_{\text{lc}}+V_{\text{fl}}+V_{\text{yj}}\tag{10}$$

式中: $V_{\text{tr}}$ ——土壤保持的价值; $V_{\text{lc}}$ ——减少表层土壤损失的价值(元); $V_{\text{fl}}$ ——保护土壤肥力的价值(元); $V_{\text{yj}}$ ——防止泥沙淤积的价值(元)。

1)减少表层土壤损失的价值  $V_{\text{lc}}$ 。根据机会成本法,减少表层土壤损失的价值  $V_{\text{lc}}$  为:

$$V_{\text{lc}}=\frac{Q_{\text{q}}}{h}\times V_{\text{t}}\tag{11}$$

式中: $Q_{\text{q}}$ ——研究区减少的土壤侵蚀量[ $\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ]; $h$ ——所在地区的土壤深度(m); $V_{\text{t}}$ ——土壤生

产相对应的机会成本(表 2)<sup>[15]</sup>。

$$Q_{\text{q}}=(Q_{\text{l}}-Q_{\text{g}})\times S\times fg\tag{12}$$

式中: $Q_{\text{l}}$ ——裸土状态下潜在土壤侵蚀量[ $\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ]; $Q_{\text{g}}$ ——实际土壤侵蚀量[ $\text{t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ]; $S$ ——研究区面积( $\text{hm}^2$ ); $fg$ ——研究区植被覆盖度(%)。

表 2 中国陆地生态系统土壤生产机会成本 元/ $\text{hm}^2$

生态系统类型	林地	耕地	湿地	建设用地	草地
土壤生产机会成本	160.3	2324.5	0	0	335

2)保护土壤肥力的价值  $V_{\text{fl}}$ 。运用影子工程法,根据土壤中氮、磷、钾含量计算保护土壤肥力的价值  $V_{\text{fl}}$  为:

$$V_{\text{fl}}=V_{\text{tN}}+V_{\text{tP}}+V_{\text{tK}}\tag{13}$$

式中: $V_{\text{fl}}$ ——土壤肥力的价值; $V_{\text{tN}}$ ——减少氮元素损失的价值(元); $V_{\text{tP}}$ ——减少磷元素损失的价值(元); $V_{\text{tK}}$ ——减少钾元素损失的价值(元)。

减少营养元素损失价值的方法基本一致,故以减少氮元素损失价值为例的计算方法如下。

$$V_{\text{tN}}=Q_{\text{q}}\times C_{\text{N}}\times u_2\times N\times S\tag{14}$$

式中: $C_{\text{N}}$ ——土壤中纯氮的含量(%); $u_2$ ——纯氮折合为化肥的比率(%); $N$ ——氮肥均价(元/t)。

3)防止泥沙淤积的价值  $V_{\text{yj}}$ 。运用成本替代法,根据我国主要流域泥沙的运动规律,我国一般有 24% 的泥沙通过土壤侵蚀而淤积于水库和江河湖等区域。因此,可以利用减少淤积而降低的水库建造成本来替代计算出防止泥沙淤积的价值。

$$V_{\text{yj}}=Q_{\text{q}}\times r\times s\times V_{\text{sk}}\tag{15}$$

式中: $V_{\text{yj}}$ ——防止泥沙淤积的价值; $r$ ——土壤侵蚀总量中造成淤积的泥沙比例,本研究根据全国一般情况,取 24%。

本研究基于遥感及地理信息数据处理软件 EN-VI4.5 与 ArcGIS 10.0,获取 2000 年、2010 年两期林地、耕地、湿地、建设用地及草地等土地利用分布,借鉴朱文泉<sup>[16]</sup>等人的经验,计算  $1\text{ km}$  分辨率的植被净初级生产力  $\text{NPP}$  分布数据,进而测量区域生态资产总价值。

### 3 结果与分析

#### 3.1 生态资产时间变化分析

基于遥感数据评估的 2000—2010 年哈尔滨市不同生态系统的生态资产价值如表 3 所示。

由表 3 可知,哈尔滨市生态资产总值由 2000 年的 2 160.95 亿元减少到 2010 年的 2 139.92 亿元,总价值减少了 21.03 亿元,减少了 0.97%,说明十年间总体

变化幅度不大;单位面积价值由 2000 年的 407.01 万元/(km<sup>2</sup>·a)减少到 2010 年的 403.05 万元/(km<sup>2</sup>·a),单位面积生态资产价值减少是由于社会经济发展、环境持续遭到破坏导致的。从不同生态系统类型的生态资产总价值上来看,各生态系统总价值高低依次为林地、耕地、湿地、建设用地、草地,林地生态系统价值最高,对区域生态系统价值贡献率最大,草地贡献率最低。

表 3 2000—2010 年哈尔滨市生态资产价值

生态系统类型	单位面积价值/(万元·km <sup>-2</sup> )		面积/km <sup>2</sup>		2000 年		2010 年	
	2000 年	2010 年	2000 年	2010 年	总价值/万元	比例%	总价值/万元	比例%
林地生态系统	696.28	692.35	26113.14	24730.04	18182100	84.14	17121900	80.01
耕地生态系统	129.38	152.49	23746.71	24507.07	3072290	14.22	3736970	17.46
建设用地生态系统	106.92	130.03	1686.57	1945.41	180336	0.83	252955	1.34
湿地生态系统	115.26	149.22	1448.1	1921.4	166911	0.77	286717	1.18
草地生态系统	79.54	94.33	99.22	7.13	7892.3	0.04	672.62	0.00
合计	407.01	403.05	53093.74	53093.74	21609529.3	100	21399215	100

不同类型生态系统的占比及变化亦不同,两期林地生态系统价值占生态资产总价值比例均在 80%以上,可见,哈尔滨市生态资产价值由林地生态系统资产价值所决定,区域生态环境良好;湿地生态系统价值由 2000 年的 16.69 亿元增加到 2010 年的 28.67 亿元,增幅达 71.78%;建设用地生态系统价值由 18.03 亿元增加到 25.29 亿元,增幅达 40.27%;耕地生态系统价值由 307.23 亿元增加到 373.70 亿元,增幅达 21.63%;草地生态系统价值则由 7 892.3 万元减少到 672.62 万元,减少幅度达 91.48%。十年间土地利用结构的改变导致了不同类型生态系统价值的显著变化。松花江流域沿江滩涂地开发为水田这一人工湿地,极大地提高了湿地生态系统价值;哈尔滨市快速城市化进程中,城市规模的急剧扩张较大地提升了建设用地生态系统价值;毁林毁草开垦耕地使得耕地生态系统价值增加与林地及草地生态系统价值减少并存。十年间哈尔滨市生态系统总价值变幅不大,但林地面积的减少,特别是草地面积的急剧下降,加大了耕地生态系统的不稳定性,不利于区域土地资源的可持续利用。

#### 3.2 生态资产空间分布分析

本研究计算得到的 1 km 分辨率的林地、耕地等各类型生态系统的植被净初级生产力 NPP 分布及生态资产价值分布。

对分布进行分析可以得到,2000 年,2010 年区域像元生态资产最高为 150 万元,0 为无植被盖度的河流和部分建设用地。50~150 万元的生态系统为分布在东南部少量林地类型区,20~50 万元的生态系

统为分布在东南部、北部边缘及中部少量的林地、耕地、湿地类型区;6.7~20 万元的生态系统为分布在西部的林地、耕地、草地类型区;0~6.7 万元为遍布于除上述地区以外的大部分地区的耕地和林地类型区及西部少量的建设用地区,其中西部主要为耕地生态系统,东部主要为林地生态系统。总体而言,区域单位生态资产价值因生态系统用地类型、植被叶面积指数差异而导致的植被盖度不同而差异显著,东部、北部及中部较少地区较高,其他大部分地区较低;生态资产总价值,西部为 280 多亿元,东部则达 520 多亿元,区域生态资产总价值呈由西向东逐渐增大的态势。

#### 3.3 生态资产价值构成变化分析

对于不同生态系统服务总价值而言,林地生态系统服务价值最高,占主导地位;林地、草地生态系统呈现不断下降的趋势,其他生态系统类型均呈增加趋势。由表 3 可知,2000 年,2010 年区域生态资产价值大小构成均表现为:林地>耕地>湿地>建筑用地>草地生态系统价值,这是由于耕地、林地及湿地的植被覆盖度较高,因而对生态系统服务价值贡献率较大。

由表 4 可知,从单项服务价值构成方面来看,土壤保持价值量最大,两期中其值均超过 1 430 亿元,在生态资产价值中占主导地位,而养分循环价值量最低,两期中最高值仅达到 109.52 亿元。区域单项价值大小排序为:土壤保持>涵养水源>空气质量调节>有机质生产>养分循环价值,除土壤保持价值略有降低,其他类型生态服务价值在 10 a 间均呈略增趋势。

表 4 2000—2010 年哈尔滨市生态系统服务价值

服务价值类型	2000 年		2010 年	
	生态系统服务价值/万元	比例/%	生态系统服务价值/万元	比例/%
养分循环价值	105.42	0.00	109.52	0.00
涵养水源价值	6115424.63	28.05	7253388.10	33.56
空气质量调节价值	2148.68	0.01	3105.07	0.01
有机质生产价值	1054.31	0.00	1098.28	0.01
土壤保持价值	15684182.34	71.94	14358141.25	66.42

4 结论与讨论

(1) 本文利用遥感影像、土壤、气象和调查数据对哈尔滨市生态资产进行测量,获得了 1 km 分辨率像元尺度的哈尔滨市生态资产总价值及其动态变化,从不同生态系统类型的生态资产总价值上来看,林地>耕地>湿地>建设用地>草地生态系统价值,基于遥感测量的生态系统价值与经济评价法基本一致。

(2) 哈尔滨市 2000—2010 年生态资产价值总量较高,期间总体变化幅度不大,但土地利用变化引起的不同类型生态系统价值差异及变化较为显著,草地面积的锐减不利于耕地生态系统的稳定。

(3) 区域生态资产总价值呈自西向东逐渐增大的态势,生态资产价值构成呈现出土壤保持>涵养水源>空气质量调节>有机质生产>养分循环价值,土壤保持价值占主导地位,表明区域土地生态环境状况较好。

利用遥感技术评估生态资产价值具有客观、快速的优势,评估成果可很好地反映区域生态环境质量及分布状况,为区域可持续发展评价、生态环境建设规划提供依据,但基于遥感反演的生态资产价值仍存在一定的不确定性。

生态资产评价因子的价值标准体系尚不完善。本研究采用市场调查法确定的生态资产各指标价值的标准煤价格、工业制氧成本、瑞典碳税税率、氮磷钾肥、水库单位建设成本等数据,受调查的时间、范围以及市场状况影响可能产生一定的偏差,同时随着研究时间尺度推移及汇率变化,估算的两个时段生态资产价值的可比性亦可能受到一定程度的影响。

利用遥感技术评估湿地价值时,难以体现湿地对环境的污染净化、生物多样性保护、景观生态作用等方面价值,导致湿地生态资产价值存在一定偏差。

参考文献:

[1] 孙奇奇,宋戈,齐美玲. 基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2012,19(1):234-238.

[2] 彭文甫,周介铭,罗怀良,等. 城市土地利用变化对生态系统服务价值损益估算:以成都市为例[J]. 水土保持研

究,2011,18(4):43-51.

[3] Turner B L, Kasperson R E, Meyer W B, et al. Two types of global environmental change: definitional and spatial-scale issues in their human dimensions[J]. Global Environmental Change, 1990,1(1):14-22.

[4] Potschin M B, Haines-Young R H. Improving the quality of environmental assessments using the concept of natural capital: a case study from southern Germany[J]. Landscape and Urban Planning,2003,63(2):93-108.

[5] Costanza R, d'Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature,1997,387:253-260.

[6] 朱文泉,张锦水,潘耀忠,等. 中国陆地生态系统生态资产测量及其动态变化分析[J]. 应用生态学报,2007,18(3):586-594.

[7] 史培军,潘耀忠,陈云浩,等. 多尺度生态资产遥感综合测量的技术体系[J]. 地球科学进展,2002,17(2):169-173.

[8] 李京,陈云浩,潘耀忠,等. 生态资产定量遥感测量技术体系研究:生态资产定量遥感评估模型[J]. 遥感信息,2003(3):8-11.

[9] 陈仲新,张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报,2000,45(1):17-22.

[10] 王红岩,高志海,李增元,等. 县级生态资产价值评估:以河北丰宁县为例[J]. 生态学报,2012,32(22):7156-7168.

[11] 陈明辉,陈颖彪,郭冠华,等. 快速城市化地区生态资产遥感定量评估:以广东省东莞市为例[J]. 自然资源学报,2012,27(4):601-613.

[12] 林年丰,孙平安,汤洁,等. 松嫩平原水土保持价值的量化研究[J]. 水土保持学报,2006,20(1):155-159.

[13] 徐昔保,陈爽,杨桂山. 长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化[J]. 生态学报,2012,32(24):7667-7675.

[14] 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.

[15] 孙平安,林年丰,李昭阳,等. 松嫩平原水土保持价值复合计算模型的建立及应用[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(3):433-442.

[16] 朱文泉,高清竹,段敏捷,等. 藏西北高寒草原生态资产价值评估[J]. 自然资源学报,2011,26(3):419-428.