

# 广义森林生态效益货币量的空间模型分析

郎璞玫

(中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093)

**摘要:**从广义森林生态效益计量概念出发, 提出了广义森林生态效益货币量和森林生态环境空间的定义。根据广义森林生态环境的空间模型分析概念和实现空间模型分析的 3 个基本条件, 采用 Arcview 和 Autocad 图形向 GIS 空间数据转换的方法对 1986、1949 和 1896 年黑龙江省森林资源空间图形资料和反推的小班资源数据库, 通过环境图象叠置分析获得森林资源与环境的空间图象, 建立广义森林生态效益经济计量模型, 由此实现广义森林生态效益的 GIS 空间分析。结果表明: 森林生态效益货币量的分布近似呈正态分布, 各森林生态效益经济总量各占一定比重。利用 GIS 空间分析功能作出的黑龙江省森林生态效益主产区的空间分布图显示, 黑龙江省森林生态效益的主产区主要分布在镜泊湖、兴凯湖、汤旺河、嫩江等江河的源头。通过分析黑龙江省森林生态效益货币总量的动态, 得出 1986 年的黑龙江省森林生态效益比 1949 年下降 38%, 比原生状态的 1896 年下降 59%。森林生态效益的下降与森林资源的数量和质量的下降呈正相关, 森林生态效益的变化总是要滞后于森林资源的变化。

**关键词:**森林生态效益; 经济计量; 空间模型分析

## Analysis of general forest ecological benefits monetary spatial model

LANG Pu-Mei (Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(7): 1356~1362.

**Abstract:** Generally, forest resource benefits include economic value, ecological value and social value in China. In this case study, we evaluated the annual economic value of forest ecological benefits in the Heilongjiang Province of northeast China, using both simulation models and Geographic Information System (GIS) that helps to analyze the effect of ecological factors (forest stand type, volume, altitude, longitude and elevation etc.) on ecosystem functions at province level.

There is rich in forest resources in Heilongjiang Province. Forest cover 34.7% of total land area in the province according to the third forest resource inventory in 1986. The ecological benefits related to twelve functions: water conservation, soil conservation, soil fertility conservation, Carbon fixation, Oxygen supply, construction microclimate, prevention from wind and sand, prevention from flood and draught, forest recreation, wildlife conservation, wild botany conservation, reduction of noise.

In the case study of Heilongjiang Province, we adopted the replacement cost method to valuate indirect forest ecological benefits. Considering of forest ecological benefits externality, the paper points

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30170774); 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-10-05-01)

**收稿日期:**2002-07-10; **修订日期:**2003-02-01

**作者简介:**郎璞玫(1970~), 女, 江苏省镇江市人, 博士, 主要从事 3S 在生态学中应用研究。E-mail: lpmei@ns. ibcas. ac. cn

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (30170774); Knowledge Innovation Project of CAS(No. KZCX1-10-05-01)

**Received date:** 2002-07-10 **Accepted date:** 2003-02-01

**Biography:** LANG Pu-Mei, Ph. D., main research field: 3S application in ecology. E-mail: lpmei@ns. ibcas. ac. cn

out the essence of forest ecological benefits. Based on effective area coefficient and market approaching coefficient, forest ecology economic model were constructed.

Applied with overlay multiple analysis method, forest ecological environmental spatial graphic (including attribute database) are built. Heilongjiang Province forest resource spatial graphs of 1986, 1949, 1896 were drawn by the software of Arcview or Autocad. Forest ecological benefits were divided into 7 degrees: (3831, 5058), (5058, 5653), (5653, 6101), (6101, 6596), (6596, 7300), (7300, 8027), (8027, 8918). The proportion of forest ecological benefits: water conservation is 18.7%; soil conservation is 5.8%; soil fertility conservation 27.8%, Carbon fixation is 13.7%, Oxygen supply is 14.7%, construction microclimate 0.74%, prevention from wind and sand is 9.4%, prevention from flood and draught is 7.2%, forest recreation is 0.005%, wildlife conservation is 0.33%, wild botany conservation is 1.7%, reduction of noise 0.0001%.

Through the principle component analysis, The first component was selected to construct forest synthesis ecological benefit physical quantity of 1986. Heilongjiang Province forest ecological benefits distribution map was done. Result illustrated that forest ecological benefits assumed normal distribution. The main production of ecological benefits region located at Jingbo lake, Xingkai lake, Tangwang river, Nenjiang river. The results of dynamic analysis of the Heilongjiang Province forest resource ecological benefits are: 1986 decrease 38 percent compared to 1949, and decrease 59 percent to 1896. The change of forest ecological benefits lagged behind the change of forest resource.

**Key words:** forest ecological benefits; economic valuation; spatial model analysis  
文章编号:1000-0933(2003)07-1356-07 中图分类号:Q988 文献标识码:A

森林作为陆地生态系统中重要的组成成分,其间接利用价值要远高于其作为木质产品及其林副产品所带来的直接收益。因此,根据森林主要间接使用价值即森林生态效益与森林资源具有的相关性,将森林涵养水源、森林保持水土、森林抑制风沙、森林改善小气候、森林吸收二氧化碳、森林净化大气、森林减轻水旱灾、森林消除噪声、森林游憩资源、森林野生生物保护等生态效益作为森林生态效益的内涵。由于它的内涵已超出过去的森林生态效益的范围,所以称为广义森林生态效益。

在森林生态效益的总体计量中,存在一个森林生态效益关于“资源背景”的全局性和非全局性的问题。因此在森林生态效益的总体估测中,能产生具有使用价值的某种生态效益的森林面积与总体森林面积的比重称为该生态效益的有效面积系数。

由于森林生态效益的外部性,不存在有形市场交换和有形市场价值。为了科学地度量森林生态效益,就需要在森林生态效益物理量向货币化转换过程中,引进一个系数,使得森林生态效益的货币计量向“市场”逼近。

在用替代商品法进行森林生态效益物理量向货币量的转换过程中,由于替代商品功能与该生态效益功能上的差异和森林生态效益本身的公共性,从使用价值的角度,构造一个系数,使得森林生态效益的货币计量向“市场”逼近,该系数称为森林生态效益的“市场”逼近系数。“市场逼近系数” $\in (0,1]$ 。

在森林生态效益模型分析中,找出各森林生态效益的合适“替代商品”和它的合理单价。在森林生态效益物理量科学的计量(通过整体扩散模型)的基础上,通过构造“有效面积系数”和“市场化系数”向市场化逼近它,由此得到的社会所接受的货币量作为广义森林生态效益的科学的经济计量,即为森林生态效益的“内部化”的基准。森林生态效益货币计量模型只能是结构模型。在森林资源与 GIS 环境空间数据库的支持下,由上述森林生态效益模型,利用 GIS 空间分析功能,作出黑龙江省森林生态效益空间分布可视化分析和分类区划图。

1 研究地点与研究方法  
1.1 研究地点的森林资源图象和数据库背景资料

本研究收集了 1986,1949,1896 年黑龙江省森林资源空间图形资料,来源于《黑龙江森林》<sup>[1]</sup>,还包括 1:450 万的黑龙省森林分布图<sup>[2]</sup>。资源数据如下:1986 年黑龙江省森林资源的林地总面积为 1577.1 万  $\text{hm}^2$ 。总蓄积 14.4629 亿  $\text{m}^3$ 。龄组比例为 3:6:1。森林覆盖率 34.7%;1949 年林地总面积为 2498.7 万  $\text{hm}^2$ ,活立木总蓄积 19.656 亿  $\text{m}^3$ ,龄组比例为 3:2:5。森林覆盖率 35.6%;1896 年森林资源由林业资源档案推测,林地总面积为 3310.0 万  $\text{hm}^2$ ,活立木总蓄积 40.0 亿  $\text{m}^3$ ,森林覆盖率 72.8%<sup>[1]</sup>。

1986 年图斑数据库取自森林资源连续清查资料,1949 年是在 1986 年图斑数据库,由森林资源总量进行控制,结合当时的经营活动反推而成的。1896 年的数据也是同理获得的。

1.2 研究方法

根据最近森林生态效益的计量研究<sup>[3,4]</sup>,森林生态效益由森林涵养水源等生态效益所构成。这些生态效益的满足使用价值相互独立物理量的因变量集构成有限维矢量空间。为此将森林生态环境的物理空间表示为:

设某林区生态效益的物理量独立(使用效能独立)因变量共有  $n$  个,其对应的单位物理量记为矢量:  
$$\vec{e}_1, \vec{e}_2, \dots, \vec{e}_n$$

显然,它构成  $n$  维空间的基底。设该林区在  $t$  时刻各森林生态效益物理量为  $y_1, y_2, \dots, y_n$ ,记为矢量:  
$$\vec{Y}_t = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

称为该林区在  $t$  时刻的森林生态环境效益的结构矢量。简称森林生态环境矢量。则对所有时刻  $t \in T$  的森林生态环境效益矢量  $\vec{Y}_t$  所构成的集合称为森林生态环境空间,记为  $\Phi$ 。通过生态效益的整体扩散模型<sup>[3]</sup>等构造的森林生态效益货币矢量是它的派生矢量和空间。

森林生态效益空间模型分析是建立在森林生态环境的物理量空间  $\Phi$  上的 GIS 空间分析。森林生态效益作为一个物质能量流,必然存在地理上的二维空间分布,需要空间可视化数字地图的表达。在空间分析中,其空间位置是核心,空间位置决定了空间尺寸、形状、分布、拓扑关系等方面。没有地理信息系统支持下的空间模型,森林生态效益的模型是很难作出空间分布的可视化表达。随着 GIS 广泛应用于资源与环境的调查分析及其监测之中,其所具有的强大的空间分析优势得到充分的展示<sup>[5,6]</sup>。

目前 GIS 的应用的空间分析层次来分:①以图形操作为主的,如叠置分析、邻域分析、缓冲区分析、网络分析等空间分析技术。它提供通用的空间分析技术。②以专业数学模型为主;就是利用统计模型或专业结构模型和 GIS 的图形、图表相结合,实现对空间数据的性质进行综合分析。

广义森林生态效益空间模型分析是建立在森林资源与环境 GIS 的空间图形上,以它的属性库为自变量集,广义森林生态环境效益的结构矢量的整体扩散模型簇<sup>[3]</sup>的空间分析。广义森林生态环境的效益的结构矢量  $Y$  可描述为:

$$Y = F(S, T, A)$$

式中,  $S$  是空间信息,即笛卡尔坐标系中的  $X, Y$  坐标;  $T$  为时间信息,  $T$  轴与  $X, Y$  轴垂直;  $A$  为属性信息。属性信息可以分为森林属性和环境属性。

1.2.1 森林资源与环境空间数据库的形成 根据森林生态效益的理论分析,由于森林生态效益是大气气候与森林、植物、土壤相互作用的产物,森林生态效益的自变量属性由区域自变量集和林分自变量集组成。所谓森林生态效益整体扩散模型就是建立在这两类属性的统计模型。满足上述模型所需属性数据库的空间图形称为森林资源与环境的空间数据库。

黑龙江省森林资源与环境空间数据库含有两类基础属性,一类是森林属性,如林分类型、龄组、郁闭度、每公顷蓄积量等,另一类是森林的环境条件属性,包括经度、纬度、降雨量、海拔高等,来源于黑龙江省地形地貌图、年降水量图<sup>[2]</sup>。

将森林资源图形与各种专题图形,如黑龙江森林区划图、降水量分布图数字化成 GIS 的图形,应用 GIS 叠置分析功能,对原森林资源图形的图元进行叠置分析,形成森林资源与环境空间图形。

1.2.2 广义森林生态效益经济计量模型的建立 由于森林生态效益物理量和经济量是具有不同量纲,且是性质截然不同的变量,所以森林生态效益经济计量不能采用常规的统计模型,而只能采用通过参数构造

的结构模型。

设,某种生态效益货币量  $E_i$  的参数:有效面积系数  $P_i$ 、市场逼近系数  $R_i$ 、货币转换系数(或单价) $C_i$ ,及由整体扩散模型<sup>[3,7]</sup>获得生态效益物理量  $Y_{ij}$ ,森林资源属性数据库斑块面积或蓄积  $S_j$ ,斑块数  $n$ ,则该森林生态效益经济计量模型为:

$$E_i = \sum_{j=1}^n P_i \times R_i \times C_i \times Y_{ij}(t) \times S_j(t) \quad i = 1, 2, 3, 4, 5,$$

(1)

或

$$E_i = \sum_{j=1}^n P_i \times R_i \times C_i(\text{龄组}) \times S_j(t) \quad i = 6, 7, \dots, 12$$

(2)

表 1 1998 年的森林生态效益经济结构模型相关系数表

Table 1 Forest ecological benefits economic structure model coefficient of 1998

生态效益类型 Forest ecological benefits type	公式 Equa- tion	有效面积 系数 $P_i$ Effective area coe- fficient	市场逼近 系数 $R_i$ Approaching market coe- fficient	货币转换 系数 $C_i$ Monetary conversion coefficient	定价说明 Price illustration
森林涵养水源 Water conservation	(1)	1.0	0.9	0.49 ¥/t	根据供应水的价格 Based on the supply water price
森林固土效益 Soil conservation	(1)	1.0	0.8	14.89 ¥/t	根据农业部门颁布的农田基本建设工作定额 Based on the agriculture department farmland infrastructure labor quota
森林减少土壤肥料损失效益 Soil fertility conservation	(1)	1.0	0.5	840.5 ¥/t	根据化肥的平均价格 Based on chemical fertilizer average price
森林吸收二氧化碳效益 Carbon fixation	(1)	1.0	0.1	530.2 ¥/t	根据造林成本 Based on afforestation cost
森林净化大气效益 Oxygen supply	(1)	1.0	0.1	708.7 ¥/t	根据造林成本 Based on afforestation cost
森林改善小气候效益 Construction microclimate	(2)	0.5	0.8	67.99605 × $LZ^{0.4931957}$ ¥/hm <sup>2</sup>	有林带与无林带的农牧业产量的变化 Production difference between forest band and non-forest agriculture and herd $LZ$ is sub-compartment age, same as below
森林抑制风沙效益 Prevention from wind and sand	(1)	1.0	0.9	450 ¥/hm <sup>2</sup>	根据人工固沙造田成本 Based on man-made cropland by stabling sand
森林减轻水旱灾效益 Prevention from flood and draught	(2)	1.0	1.0	311.6941 × $LZ^{0.6183988}$ ¥/hm <sup>2</sup>	森林固土效能的减少造成江河水库淤积引发的 洪水造成的损失 Forest providing a hydrologic service of moderating water flood to reduce flood damage
森林游憩资源效益 Forest recreation	(2)	0.02	0.3	12.33866 × $LZ^{0.8235893}$ ¥/hm <sup>2</sup>	单位森林面积上的森林游憩资源年效益量 Per area per year of forest recreational benefit
野生动物保护效益 Wildlife conservation	(2)	1.0	0.9	21.39681 × $LZ^{0.8760093}$ ¥/hm <sup>2</sup>	单位森林面积上的野生动物保护年效益量 Per area per year of forest protecting wildlife
野生植物保护效益 Wild botany conservation	(2)	1.0	0.9	64.11374 × $LZ^{0.8235908}$ ¥/hm <sup>2</sup>	单位面积野生植物保护年效益量 Per area per year of forest protecting wild botany benefit
消除噪声效益 Reduction of noise	(2)	0.001	0.1	62.74023 × $LZ^{0.2500285}$ ¥/hm <sup>2</sup>	单位面积森林消除噪声年效益量 Per area per year of forest alleviating noise benefit

\* ①  $LZ$  为小班林分的龄组  $LZ$  is forest stand age class, ② 定价的数据来源于 1996~1999 年国家和地方的统计年鉴等资料 Data is from country and local yearbook; ③ 市场逼近系数是根据替代商品的功能和价格的相似度等用综合评判方法构造的 Approaching market coefficient is decided by similarity of replaced goods

建立各生态效益经济计量模型见表 1。

1.2.3 广义森林生态效益货币量的结构模型 GIS 空间分析 (1)广义森林生态效益经济结构汇总模型就是将各图斑独立的 12 种生态效益的货币量累计,得到单位面积的广义森林生态效益经济汇总模型:

$$E = \sum_{i=1}^5 \left[ \sum_{j=1}^n P_i \times R_i \times C_i \times Y_{ij}(t) \times S_j(t) / \sum_{j=1}^n S_j(t) \right] + \sum_{i=6}^{12} \left[ \sum_{j=1}^n P_i \times R_i \times C_i \times S_j(t) / \sum_{j=1}^n S_j(t) \right] \quad (3)$$

(2)广义森林生态效益经济结构汇总模型的空间分布见图 1。

2 结果分析

2.1 广义森林生态效益经济结构汇总模型的空间异质性分析

(1)森林生态效益经济汇总量划分 7 个等级: (3831, 5058]、(5058, 5653]、(5653, 6101]、(6101, 6596)、(6596,7300)、(7300,8027) 、(8027,8918)。生态效益产值单位是元/hm<sup>2</sup>。

(2)森林生态效益经济汇总量的各个等级频数分布近似呈正态分布<sup>[6]</sup>。

(3)各森林生态效益经济总量的比重分别为:森林涵养水源占 18.7%、森林保土占 5.8%、森林保肥占 27.8%、吸收二氧化碳占 13.7%、净化大气类占 14.7%、森林改善小气候占 0.74%、抑制风沙占 9.4%、减轻水旱灾占 7.2%、游憩资源占 0.005%、野生动物保护占 0.33%、植生物保护占 1.7%、消除噪声类占 0.0001%。

(4)黑龙江省森林生态效益的主产区 利用 GIS 的空间分析功能作出黑龙江省森林生态效益的主产区的空间分布图。由图 3 可见黑龙江省森林生态效益的

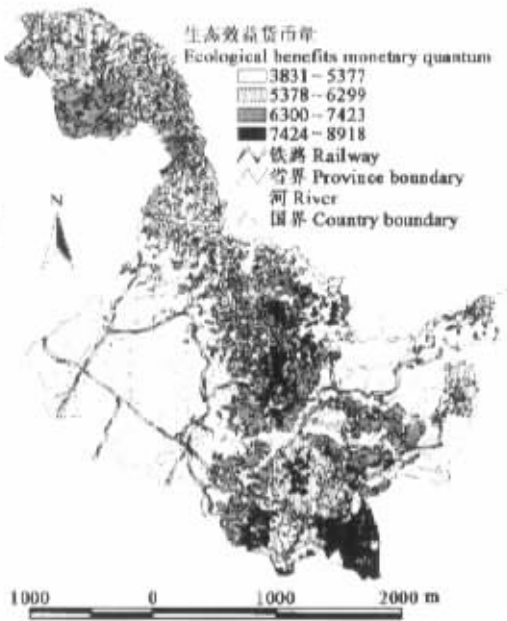


图 1 黑龙江省广义森林生态效益汇总量分布图

Fig. 1 The distribution map of the gross of Heilongjiang Province general forest ecological benefits

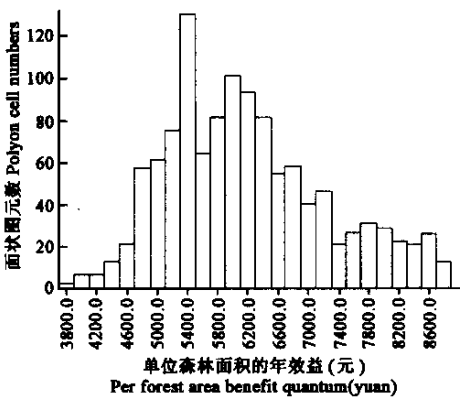


图 2 黑龙江省广义森林生态效益汇总量直方图

Fig. 2 Gross of Heilongjiang Province general forest ecological benefits horizon map

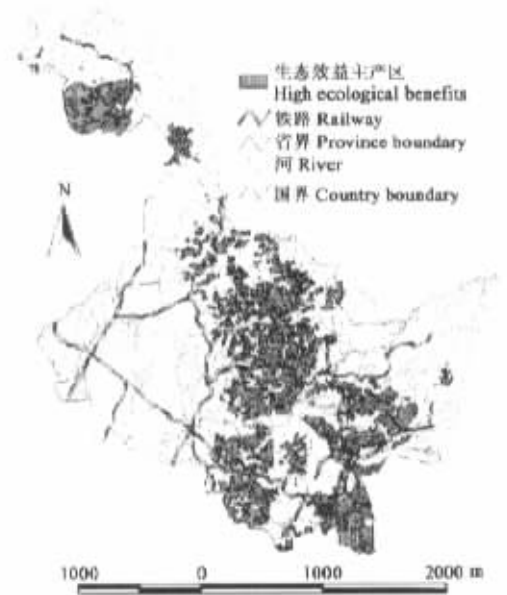


图 3 森林生态效益主产区的空间分布图

Fig. 3 The spatial distribution map of the main forest ecological benefits



主产区主要分布在镜泊湖、兴凯湖、汤旺河、嫩江的等江河的源头。

2.2 森林生态效益的动态的研究

广义森林生态效益的专业模型与 GIS 的结合有 3 个基本要求:①数字化的森林分布图,森林资源分布决定森林的生态效益的空间分布;②森林资源的空间图形必须提供两类基础属性,一类是森林属性,另一类是森林的环境条件属性。它们是森林生态效益 GIS 空间分析研究的资料基础;③森林生态效益模型的构造要适应森林资源的空间图形所能提供森林资源环境属性变量集。

森林生态效益是典型的时间序列结构。可用森林生态向量的运动来描述它。由于气象因子的随机性,它在生态环境空间中作平稳(smooth)和非平稳(rough)的迭加运动。

黑龙江省森林生态效益的货币总量,1986 年比 1949 年下降 38%,比原生状态的 1896 年下降 59%。森林生态效益的下降与森林资源的数量和质量下降呈正相关。但森林生态效益的变化要滞后于森林资源的变化。这里需要指出的是对 1896 年,1949 年,1986 年的森林生态效益货币量的估计是根据同一价格指数进行估计的,而不是采用通常统计学上的可比价格进行比较的。

3 结论和讨论

本文通过对森林生态效益内涵的扩充,提出广义森林生态效益,有效面积系数和市场逼近系数概念。本文提出广义森林生态环境的空间模型概念和实现 GIS 空间模型分析的 3 个基本条件。建立广义森林生态效益经济计量模型,由此实现广义森林生态效益的 GIS 空间模型分析。由广义森林生态效益的 GIS 空间模型分析可知森林生态效益货币量的分布近似呈正态分布。利用 GIS 的空间分析功能作出黑龙江省森林生态效益的主产区的空间分布图。黑龙江省森林生态效益的主产区主要分布在镜泊湖、兴凯湖、汤旺河、嫩江的等江河的源头。

表 2 黑龙江省森林生态效益货币量动态估计

Table 2 The dynamic estimate of Heilongjiang Province forest ecological monetary quantum

类别 Type		年度 Year		
		1896	1949	1986
货币量合计①	森林水源涵养效益 Water conservation(ynan/hm <sup>2</sup> )	436.0274	329.6331	184.0013
	森林固土效益 Soil conservation(ynan/hm <sup>2</sup> )	133.882	101.4212	57.32184
	森林保肥效益 Soil fertility conservation(ynan/hm <sup>2</sup> )	652.4747	492.9724	274.6585
	森林吸收二氧化碳效益 Carbon fixation(ynan/hm <sup>2</sup> )	352.2195	160.4806	134.8318
	森林释放氧气效益 Oxygen supply (ynan/hm <sup>2</sup> )	377.4783	177.9893	144.5011
	森林改善小气候效益 Construction microclimate(ynan/hm <sup>2</sup> )	16.60187	12.62447	7.308806
	森林抑制风沙效益 Prevention from wind and sand(ynan/hm <sup>2</sup> )	210.6275	158.1322	92.52202
	森林减轻水旱灾效益 Prevention from flood and draught(ynan/hm <sup>2</sup> )	170.7341	130.3136	70.79433
	森林游憩效益 Forest recreation(ynan/hm <sup>2</sup> )	0.120877	0.0925088	0.0484378
	森林保护动物效益 Wildlife conservation(ynan/hm <sup>2</sup> )	8.40205	6.439621	3.279855
	森林保护植物效益 Wild botany conservation(ynan/hm <sup>2</sup> )	41.87339	32.04614	16.77943
	森林消除噪声效益 Reduction of noise(ynan/hm <sup>2</sup> )	0.002535	0.0019236	0.0011274
	黑龙江省总森林面积合计(hm <sup>2</sup> ) Sum of Heilongjiang Province forest area	33110421	24985313	15779429
黑龙江省森林总蓄积合计(m <sup>3</sup> ) Sum of Heilongjiang Province forest volume		4015542169	1966486063	1446092913
黑龙江森林生态效益货币计(yuan) Sum of Heilongjiang Province forest ecological benefits monetary quantum		2400.4441	1596.147067	986.0485

① Sum of monetary quantum

现正相关。但森林生态效益的变化要滞后于森林资源的变化。

目前来看,对许多领域货币化基础的财务分析是必不可少的,但是在对评估生物物理约束的时候,货币化技术本身存在缺陷<sup>[8,9]</sup>。森林生态效益的货币计量未必能反映真正的资源稀缺性,生态结构和功能的必要性及价值。

此外由于森林生态系统系统是开放的复杂巨系统,都有非线性特征。对于非线性系统来说,整体不等于部分之和<sup>[10]</sup>。即森林生态系统的各个效益之和不等于整个生态系统的效益。

尽管存在这样的问题,但货币化估价还是存在很多可取之处。通过对不存在市场交换的环境资产进行估价,就意味着承认其可能存在的较高价值,使人们了解自然资源退化的可能付出的代价。随着经济社会发展水平和人民的生活水平的不断提高,人们的生态价值观念逐渐显现并增加起来的,即生态价值的大小取决于不同发展阶段人们对环境服务功能的认识水平、重视程度和支付的意愿。

## References:

- [1] Heilong Forest. *Heilong Forest*. Editor Committee. Northeast Forestry University Press, Harbin, 1993. 120~135.
- [2] Heilongjiang Province Agriculture Atlas, *Heilongjiang Province Atlas*. Compilation Committee, Harbin Atlas Press, Harbin, 1999. 1~10.
- [3] Lang K J, Li C S, Yin Y *et al*. The measurement theory and method of 10 forest ecological engineering. *Journal of Northeast Forestry University*, 2000, **28**(1): 1~7.
- [4] Zou X F, Jiang M Y. Heilong Province forest benefits valuation and compensation. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, **35**(3): 97~102.
- [5] Guo R Z. *Spatial analysis*, Wuhan Mapping Science and Technique University Press, Wuhan, 2000.
- [6] Bai Y C, Li X, Feng X Z. Spatial data analysis and spatial model. *Geographical Research*, 1999, **18**(2): 185~190.
- [7] Tang S Z. Multiple statistics analysis, China Forestry Press, Beijing, 1985.
- [8] Robert Costanza Ralph d'Arge *et al*. Global ecosystem service and Nature Capital Value Estimation. *Nature*, 1998, **386**: 253~260.
- [9] Rees E, Wackernagel M. Monetary analysis: turning a blind eye on sustainability. *Ecological Economics*, 1999, **29**: 47~52.
- [10] Gao Z W. Study on forest system integrity and complexity, *East China Forest Management*, 2002, **16**(1): 1~4.

## 参考文献:

- [1] 黑龙江森林,《黑龙江森林》编辑委员会. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1993. 120~135.
- [2] 黑龙江省农业地图集《黑龙江省地图集》编纂委员会. 哈尔滨:哈尔滨地图出版社,1999. 1~10.
- [3] 郎奎建,李长胜等. 林业生态工程 10 种森林生态效益计量理论与方法. 东北林业大学学报, 2000, **28**(1): 1~7.
- [4] 周晓峰,蒋敏元. 黑龙江省森林效益的计量、评价及补偿. 林业科学, 1999, **35**(3): 97~102.
- [5] 郭仁忠. 空间分析, 武汉:武汉测绘科技大学出版社, 2000.
- [6] 柏延臣,李新,冯学智. 空间数据分析和空间模型. 地理研究, 1999, **18**(2): 185~190.
- [7] 唐守正. 多元统计分析, 北京:中国林业出版社, 1985.
- [10] 高兆蔚. 森林系统的整体性与复杂性问题的研究. 华东森林经理, 2002, **16**(1): 1~4.