干旱区生态资产遥感定量化评估及其动态变化分析

陈 曦[①] 张 清[②] 周可法[①③] 孙 莉[①]

(①中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; ②中国科学院研究生院, 北京 100039; ③北京大学遥感研究所, 北京 100871. E-mail: zhouk@ms.xjb.ac.cn)

摘要 生态资产是生态系统生物资源直接价值及其生态服务功能价值的总和, 在3S技术的支持下, 利用卫星遥感Landsat TM数据、中巴CBERS数据、NOAA数据和MODIS数据, 以及地表覆盖类型和野外测定观测数据等生态参数, 在传统生态学生态资产单位面积价值研究的基础上, 建立了基于遥感定量测量的生态资产价值评估模型, 以天山北坡昌吉地区1990, 1995和2003年生态资产评估的时空分析为例, 开展了生态资产遥感动态测量, 进行了GDP的比较分析, 编制了生态资产空间分布图, 分析了其空间分布特征. 研究结果表明: 天山北坡典型干旱区生态资产的分布具有从高山向平原, 从绿洲向荒漠逐渐减少的趋势, 具有和干旱区植被地带性分布一致的特征, 其测量结果可以更加客观地反映干旱区生态资产及其空间分布的现实情况, 为今后开展相关研究奠定良好的基础, 同时可将生态系统服务功能研究与区域规划相结合, 使之成为区域规划的一个重要依据.

关键词 干旱区 生态资产 遥感评估 动态变化 生态系统

生态资产估算一般包括自然资产估算和生态系统服务功能估算, 也可直接对生态资产从整体上进行估算. 自然资产可以商品化或市场化, 可以采用一些比较成熟的资产估算方法, 如收益现值法、重置成本法、现行市价法等. 而生态系统服务功能估算还没有理想的方法, 是目前生态资产估价中的难点. 主要问题是生态系统服务功能的计量标准和估价标准, 同时, 生态系统服务功能是动态过程, 估算受时间和空间尺度的影响[1~4].

近年来, 国外对生态资产服务功能的研究取得了较大进展, 其中以Daily主编的《Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystem》(1997)一书和Costanza等人在《Nature》上发表的"The value of the world's ecosystem services and natural capital"一文最引人注目. 在Daily主编的专著中比较系统地介绍了生态系统服务功能的概念、研究简史、服务价值评估、不同生物系统的服务功能以及区域生态系统服务功能等专题研究. Bolund P(1999), Bjorklund J(1999)和Homund C(1999)等从不同角度对生态系统的服务功能及其价值评估进行了研究, 例如淡水生态系统、城市生态系统、鱼类生态系统等的服务功能及其价值评估. Costanza等[1]认为生态系统和自然资本直接或间接地为人类的福利做出贡献, 并对应全球16个生态系统类型, 将生态系统服务功能分成了17个大类, 引发了人们对生态资产价值的广泛讨论, 特别是引起了很多专家和学者对生态资产价值计算方法的进一步深入研究[4~7].

近期国内许多学者如陈仲新、欧阳志云、毕绪岱(1992)、候元兆(1995)、王如松(1999)、王效科、苗鸿(1999)、黄兴文、陈百明(1999)、蒋延玲、周广胜、薛达元、包浩生、李文华(1999)、许涤新、马世骏、李金昌、王金南、张兰生、徐嵩龄、夏光和于江涛等对生态资产价值估算的理论和方法进行了介绍的同时, 并尝试对全国或区域的生态资产价值进行了估算[8~20]. 所有这些都为生态系统服务功能价值研究提供了理论方法基础.

但国内外有关生态资产估算方面的研究成果基本限于利用单位面积价值对总量的静态估算, 对生态系统类型、质量状况的空间/时间差异缺乏考虑, 估算结果难以反映生态资产在空间分布上的真实状况. 尽管国外一些国家都开始在国民经济核算体系中纳入了绿色预算, 希望通过绿色预算的统一编制和实施来促进自然资源和生态环境的综合治理[21~26]. 但他们没有把区域生态资产的价值和区域GDP结合起来进行比较分析, 从而不能从微观区域真正实现可持续发展战略.

生态资产评估的难点就是难以找到一种方法能够较容易地获取生态系统服务功能的价值, 并且能够动态地进行分析和比较. 本文提出了利用遥感与地理信息系统进行生态资产评估的方法, 并对生态

资产的变化进行了分析. 生态资产评估的遥感测量方法, 既容纳了生态学规律, 能反映生态系统本身的质量状况; 同时, 克服了以点代面的缺点, 部分地解决了生态学上尺度扩张的问题, 测量结果可以更加客观地反映干旱区生态系统生态资产的时空分布.

1 研究区域与材料

1.1 研究区域

昌吉地处天山北麓, 准噶尔盆地东南部, 位于东经 85°17′50″~91°32′15″, 北纬 43°06′31″~45°38′50″. 东西长 541 km, 南北宽 285 km, 总面积 9.39×10^4 km^2, 现有人口 158.88 万人. 昌吉是典型的大陆性干旱气候, 具有冬季寒冷、夏季炎热、昼夜温差大的特点. 由于地形条件的影响, 由南向北气候差异较大, 南部山区气候特征明显. 夏季降水充沛; 北部沙漠性气候特征显著. 昌吉日照充足, 年日照时数为 2700 h, 太阳年辐射总量为 133.6×4.1840 J/cm^2; 执量条件也较为充足, 年均≥10℃积温为 3450℃, 其中年平均气温 6.8℃, 1 月份平均气温为-15.6℃, 7 月份平均气温为 24.5℃; 年平均降水量为 190 mm, 夏季降水量明显多于冬季; 年无霜期为 160~190 天. 主要生态系统为典型的灌溉绿洲农业、农牧结合生态区、牧业和林业生态区, 荒漠与半荒漠生态区.

1.2 研究材料

本文利用的遥感数据包括 LANDSAT TM 数据(图像空间分辨率: 30 m × 30 m, 时间为 2002 年)、中巴卫星数据(空间分辨率: 20 m × 20 m, 时间为 2003 年)、MODIS 数据(空间分辨率: 250 m × 250 m, 时间为 2003 年)和气象卫星 NOAA/AVHRR NDVI 数据. 所有数据经投影变换处理, 选取的投影方式为 Albers 等面积投影. 本文所用的气象数据来源于新疆气象局, 时间为 1971~2003 年, 数据内容为月降水量、月平均气温、月总太阳辐射, 以及各气象站点的经度、纬度和海拔高度, 共涉及 8 个气象站点. 对数据进行精度验证, 剔除不可替代的错误数据后, 在本文研究中实际使用了 7 个站点的资料. 计算植被净初级生产力需要栅格化的气象数据, 并要求在空间上与遥感数据相匹配. 利用 GIS 的插值工具, 根据各气象站点的经纬度信息, 通过对气象数据进行 Kringing 插值和基于 DEM 的插值, 获取象元大小与 NDVI 数据一致、投影相同的气象要素栅格图. DEM (Digital Elevation Model)数据: 数字高程模型(DEM)空间分辨率为 90 m. 资料来源: 新疆测绘局数据中心. 经几何校正、配准、投影变换处理, 选取的投影方式及参数与 NDVI 相同. 其他图件: 1:100 万《新疆植被类型图》, 资料来源: 中国科学院新疆生态与地理研究所; 1:50 万《新疆土壤质地图》, 资料来源: 中国科学院新疆生态与地理研究所; 1:10 万《昌吉州土地利用图》, 资料来源: 中国科学院新疆生态与地理研究所; 经 ARC/INFO 投影变换, 投影同 NDVI 影像.

2 研究方法

2.1 数据折算方法

(1) 自然资源价值. 生态系统自然资源价值的核算是基于生物量来进行的, 将生物量折成平均的有机物价值, 换算求得生态系统自然资源价值. 在这里, 根据标煤的价值来替代, 标煤为 354 元/t, 其取值为 2.3718×10^{-4} 元/g(C).

(2) 气体调节价值. 在评估生态系统对固定 CO_2 与释放 O_2 的作用时, 根据光合作用和呼吸作用的反应方程式推算每形成 1g 干物质, 需要 1.62 g CO_2, 释放 O_2 1.2 g. CO_2 的单位质量价值借用瑞典碳税率 0.15 美元/kg(C)来计算, 换算成吸收 CO_2 的税率为 4.094×10^{-5} 美元 g(CO_2), 如果按 8.2 元人民币/美元的汇率计算, 即 3.36×10^{-4} 元/g(CO_2). O_2的单位质量价值按工业制氧价来计算(4×10^{-4} 元/g).

(3) 涵养水源价值. 涵养水源是生态系统的一个重要功能, 本文主要参照李金昌等[8]人的研究方法来评价生态系统对涵养水源的间接经济价值. 森林涵养水源类似于水库蓄水, 通过建立蓄水量 1 t 水库的费用来估算涵养水源的价值, 我国每建设 1 m^3 库容的成本花费为 0.67 元.

(4) 水土保持价值. 水土保持价值的估算比较复杂, 本文首先利用遥感数据反演得到植被覆盖类型和植被覆盖度, 然后在此基础上求得各类生态系统的土壤侵蚀量, 最后根据欧阳志云等[14]的研究成果进行各项参数的求取, 获得研究区的水土保持价值.

(5) 生态系统其他服务价值. ①有机物质生产价值. 净第一性生产力和生物量是反映有机物质生产的两个重要指标. 生物量是反映有机物质的储存量, 而净第一性生产力是反映某一时间段(如一年)所生产的有机物质量. 因此可以根据生态遥感测量得到的净第一性生产力和有机物质的单位质量价值(元/g(C))换算得到生态系统有机物质生产的价值. 在这

里，根据标煤的价值来替代(标煤为 354 元/t)，其取值为 2.3718×10^{-4} 元/g(C). ②营养物质的循环与贮存价值. 生态系统中的营养物质通过复杂的食物网而循环再生，并成为全球生物地球化学循环不可或缺的环节，在评估生态系统在营养物质循环中的作用时，仍以生态系统的净第一性生产力为基础，估算其重要营养物质氮、磷、钾在生态系统中的年吸收量. 根据目前的统计资料，氮、磷、钾肥的平均价格为 2034.575 元/t; 对应的纯氮、磷、钾元素折算率分别为 79/14, 506/62 和 174/78.

2.2 评估概念模型

一定区域内生态资产的总量是一个随时间动态变化的量值，它是区域内所有生态系统类型提供的所有服务功能及其自然资源价值的总和，并随着区域内所含有的生态系统的类型、面积、质量的变化而变化. 一定区域内的生态资产价值总量(V)可以表示为:

$$V=\sum_{c=1}^{n}V_{\mathrm{C}},$$

其中，c=1,2,…, n, 表示生态系统的类型; V_{C} 表示第 C 类生态系统生态资产价值.

$$V_{\mathrm{C}}=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}R_{ij}\times V_{Ci}\times S_{ij},$$

其中，i=1,2,…,n, 表示第 C 类生态系统的第 i 种生态服务功能; V_{Ci} 表示第 C 类生态系统的第 i 种生态服务功能类型的单位面积价值; j=1,2,…,m 表示一定区域内第 C 类生态系统在空间上分布的象元数; S_{ij} 表示各个象元的面积大小，对于等面积投影，S_{ij} 为给定的常数; R_{ij} 表示每个象元的调整系数，它是由生态系统的质量状况决定的:

$$Rij=F(A1,A2,...An),$$

其中，A_1, A_2, …, A_n 是表征生态系统质量状况的生态参数，同一生态系统类型不同质量状况的 V_{Ci} 是不同的，其差别由 R_{ij} 来调整. 本文选取植被覆盖度(f_j)和植被净第一性生产(NPP)作为表征当年生态系统质量状况的生态参数，对于任一象元，调整系数可表示为:

$$R_{ij}=\left(\frac{\mathrm{NPP}_j}{\mathrm{NPP}_{\mathrm{mean}}}+\frac{f_j}{f_{\mathrm{mean}}}\right)/2,$$

式中，$\mathrm{NPP}_{\mathrm{mean}}$ 和 f_{mean} 为区域内第 C 类生态系统植被净第一性生产力的均值和植被覆盖度的均值，NPP_j 和 f_j 为 j 象元的第一性生产力和植被覆盖度.

2.3 遥感评估方法

根据分层统计抽样的原理，根据不同测量尺度的要求，与遥感测量相匹配，按一定的标准和规范设计实地抽样测量样地和样点，按一定的指标体系和标准的调查测量规程，建立基于实地抽样测量的生态资产测量结果验证方法，并依此作为验证遥感测量结果精度的依据[21~25]. 生态资产遥感测量的技术体系如图 1 所示. 模型的数据来源主要有三条途径: 气象数据、遥感数据、地面观测与统计资料.

遥感影像数据一方面用于生态系统类型的划分和面积估算，另一方面用于生态系统生物量、净初级生产力、植被覆盖度等生态参数的反演.

生态系统有机物质生产、营养物质循环、CO_2 吸收、O_2 释放这四项生态价值的评估是基于生态系统生物量和净初级生产力来计算的，即根据单位质量生物量所产生的价值进行估算.

生态系统涵养水源的效益分两种情况估算. 当下垫面为土壤时(如林地、灌丛、草地等)，根据不同植被覆盖下的土壤储水能力来计算涵养水源价值; 当下垫面为水时(如水域、水稻田、沼泽等)，则根据降水转换率(降水贮存量占总降水量的百分比)来计算.

生态系统保护土壤主要通过减少表土损失量、保护土壤肥力、减轻泥沙淤积灾害、减少风沙等灾害的 4 个相互联系的生态过程来实现其经济价值. 在估算过程中，首先采用无植被覆盖的潜在土壤侵蚀量来估算各生态系统减少的土壤侵蚀量，在此基础之上再评价它们对表土损失、肥力损失和减轻泥沙淤积灾害三方面的价值.

对于生态系统净化环境污染价值计量的研究，目前还很少见到. 这里先抓住主要矛盾，从分析森林净化的主要环境污染物的危害入手，说明一种简单、粗略的计算方法，以作为继续深入研究的基础.

所获得的各项量化的生态效益，最后通过影子工程法、市场价值法、机会成本法、替代价值法等转换成生态系统服务价值[26~32].

3 评估结果与分析

3.1 评估结果

根据建立的动态评估模型，对昌吉地区 1990, 1995 和 2003 年生态资产进行了计算. 在模型构建时，

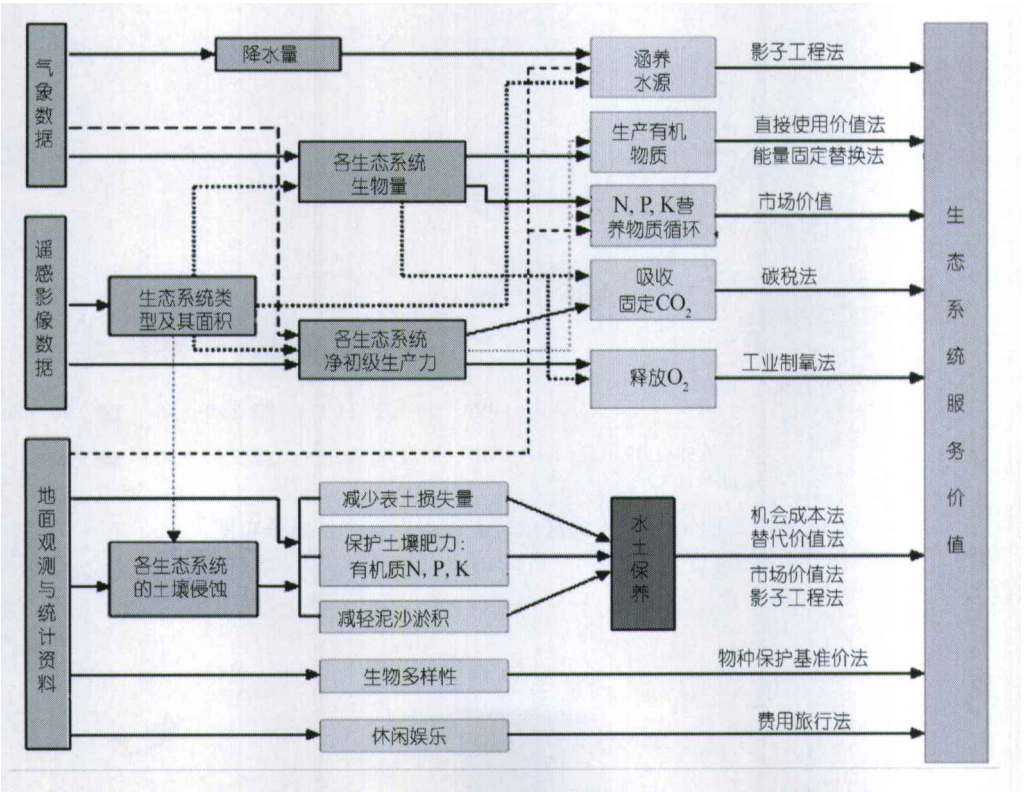


图 1　生态资产定量评估技术体系示意图

以 GIS 为模拟平台，对耕地、林地、草地、灌丛、建筑用地、水域和难利用地等七类地表覆盖类型生态资产价值进行了空间分布，因此按照不同的需求能输出相应的格式和子区结果，可以实现多尺度、多格式的结果输出方式. 可输出不同类型的昌吉地区生态资产价值分布图，对空间数据进行统计计算，得到各种土地类型在各种不同条件下的生态资产价值. 1990, 1995 和 2003 年昌吉地区单位面积生态资产价值分布图分别如图 2~4, 1990, 1995 和 2003 年七种生态系统类型各项生态服务价值统计表如表 1.

3.2　生态资产空间分布

针对 1990, 1995 和 2003 年数据分析及生态参数遥感测量结果的空间分布图 2 ~ 4 所示，可以看出：植被净第一性生产力基本上与生态资产的空间分布一致. 就 2003 年而言，草地的生态服务价值占了总生态服务价值的 54.94%；其次为难利用地(22%)、林地(13.54%)和耕地(8.78%)，由此可见草地、耕地和林地对生态资产的贡献率较大. 从生态资产空间分布上来看(图 2 ~ 4)，昌吉州生态资产总体空间分布呈现由南向北递减、由高山向平原、由绿洲向荒漠递减的趋势，这与植被的地带性分布梯度基本一致. 最低值区位于北部的沙漠地区，这里主要分布着荒漠戈壁，气候恶劣，生态环境非常脆弱. 2003 年，高山区、山前丘陵区、绿洲平原区和荒漠区生态资产单位面积价值依次为 4.09, 3.19, 2.85 和 1.16 元.

3.3　生态资产时间变化

受气候和人类活动的影响，一定区域内的生态资产会随时间发生动态变化. 总体看来，昌吉地区生态系统三期的生态资产呈上升趋势. 1990 年昌吉地区的生态资产为 1473.68 亿元人民币，到 1995 年增长到 1661.60 亿元，2003 年全区生态资产总值增加到 1778.95 亿元人民币. 从动态模型分析来看，NPP 是自然状况下控制生态系统生态资产变化的关键因子. 其一方面可归结为气候因素，因为近些年来，整个区域内水热条件的配置比较适合于植被的生长；另一方面则是因为 20 世纪 90 年代以来，国家实施的退耕还林还草、天然林保护工程等措施对生态环境起到了较大的改善作用.

4　结论与讨论

(i) 本文利用遥感技术，结合生态学方法，在对生态参数测量的基础上，通过建立生态资产生态遥感计算模型，对研究区的生态资产进行了测量，并据此绘制了昌吉生态系统多年生态资产空间分布图；

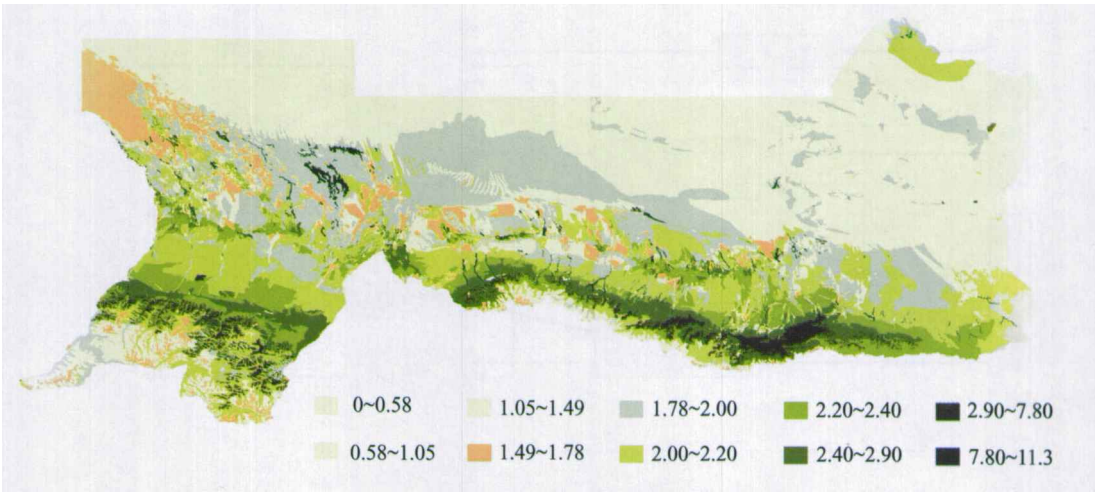


图 2 1990 年昌吉地区单位面积生态资产价值分布图

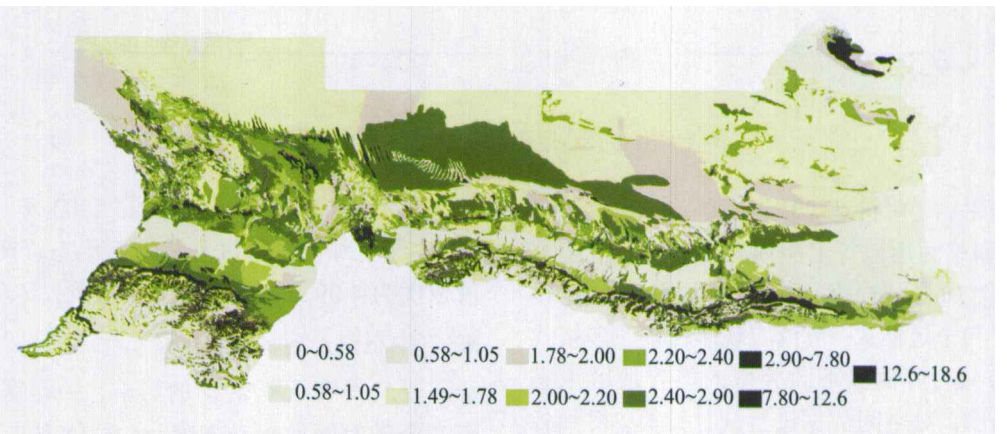


图 3 1995 年昌吉地区单位面积生态资产价值分布图

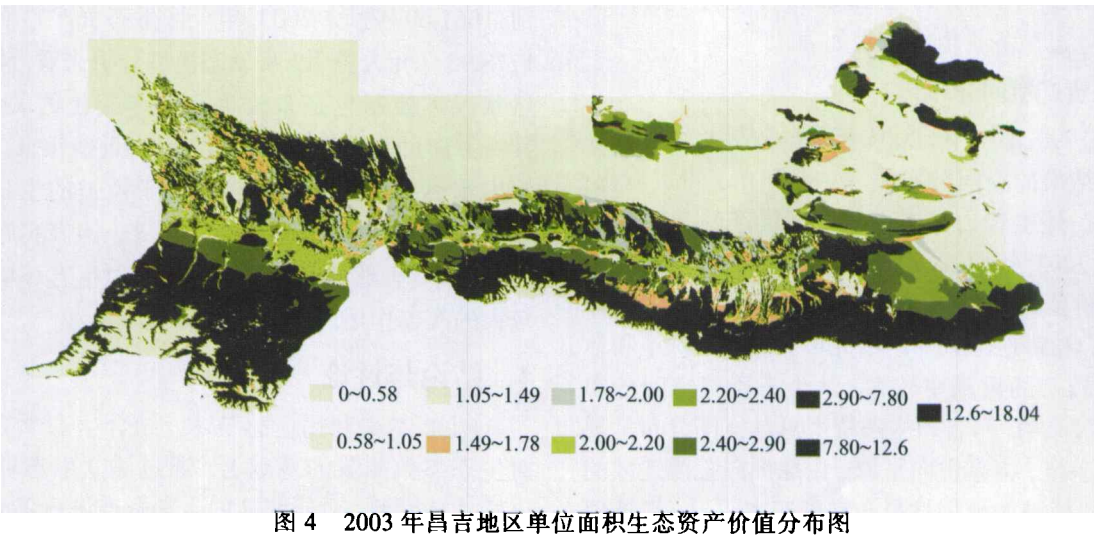


图 4 2003 年昌吉地区单位面积生态资产价值分布图

表 1 1990, 1995 和 2003 年七种生态系统类型各项生态服务价值统计表(单位: 亿元)

	名称	林地	草地	水体	城镇用地	难利用地	沼泽地	耕地	合计
1990	维持大气平衡	8.81	102.83	2.65	1.50	97.08	0.02	26.33	239.23
	营养物质循环	16.78	264.68	6.59	4.25	291.53	0.07	74.96	658.85
	生产有机质	2.04	23.81	0.61	0.35	22.48	0.01	6.10	55.39
	涵养水源	15.40	99.95	4.68	1.35	30.10	0.09	32.21	183.78
	保持水土	135.59	132.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	268.25
	废物处理	1.25	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.70
	休闲娱乐	7.25	15.35	0.06	0.02	0.91	0.00	6.23	29.82
	生物多样性	1.45	12.28	0.05	0.02	0.73	0.00	3.74	18.26
	科研文化	2.18	13.85	0.11	0.05	0.45	0.00	1.73	18.37
	合计	190.74	665.78	14.75	7.54	443.29	0.19	151.40	1473.68
1995	维持大气平衡	9.82	115.24	3.08	1.66	107.42	0.02	29.20	266.45
	营养物质循环	17.19	281.66	8.25	4.85	363.42	0.07	79.94	755.38
	生产有机质	2.27	26.68	0.71	0.39	24.87	0.01	6.76	61.70
	涵养水源	15.40	99.95	4.68	1.35	30.10	0.09	32.21	183.78
	保持水土	177.65	148.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	326.13
	废物处理	1.25	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.70
	休闲娱乐	7.25	15.35	0.06	0.02	0.91	0.00	6.23	29.82
	生物多样性	1.45	12.28	0.05	0.02	0.73	0.00	3.74	18.26
	科研文化	2.18	13.85	0.11	0.05	0.45	0.00	1.73	18.37
	合计	234.47	713.84	16.94	8.34	527.91	0.19	159.91	1661.60
2003	维持大气平衡	32.92	280.92	1.69	3.97	106.83	0.34	46.08	472.74
	营养物质循环	26.67	276.36	1.90	5.39	157.36	0.45	60.00	528.12
	生产有机质	18.86	160.95	0.96	2.28	61.21	0.20	26.40	270.86
	涵养水源	12.30	93.39	2.20	1.01	54.15	0.25	17.37	180.67
	保持水土	140.39	128.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	268.93
	废物处理	0.99	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.36
	休闲娱乐	5.78	13.72	0.03	0.02	1.74	0.00	3.36	24.65
	生物多样性	1.15	10.98	0.02	0.01	1.39	0.00	2.02	15.57
	科研文化	1.74	12.38	0.05	0.04	0.85	0.01	0.93	16.01
	合计	240.79	977.59	6.84	12.71	383.56	1.26	156.20	1778.95

从生态资产的空间分布来看，昌吉州生态资产总体空间分布呈现由南向北递减、由高山向平原和绿洲向荒漠递减的趋势，这与植被的地带性分布梯度基本一致，说明生态资产遥感的测量结果符合昌吉州生态资产的实际情况.

(ii) 从 20 世纪 90 年代昌吉地区生态系统的生态资产呈明显上升趋势，其总体变化率在 21%左右；但生态资产与 GDP 的比值则明显下降，说明生态资产增加的速率远赶不上 GDP 增长的速率. 造成这种变化主要是受气候因素和人为因素的影响. 气候变化会影响生态系统的质量状况，甚至使某些生态系统类型发生变迁，尤其那些对环境依赖性较强的生态系统；人类活动主要是影响生态系统的质量和面积，使生态系统的服务功能增强或减弱,从而造成生态资产的波动.

(iii) 目前对生态系统服务功能价值评估的指标体系的研究还不够完善，Costanza 等[1]把生态系统服务分为 17 大类，本文只选择了九项比较常见且影响较大的指标，而实际上，生态系统的服务功能还远不止这些，更何况有些指标还有可能在服务功能上有所重合；数据来源及预处理. 遥感数据、气象数据、其他地理底图和统计数据的获取与处理过程中不可避免的会存在一些误差，如：遥感数据的辐射矫正、去云处理、投影变换等，气象数据的插值，地理底图的数字化；本研究中所涉及的四类生态参数(土地覆盖类型、植被覆盖度、植被净第一性生产力和植被生物量)均是通过遥感手段获得，尽管所选择的方法均是通过前人验证的，但无论选择什么样的方法，其测量误差仍旧存在；在生态资产研究中应涉及的经济参数比较多，如：人民币和美元的汇率、工业制氧价格、柴薪和标煤价格等，这些参数本身也是随时间而变动的，因此对它们的取值会存在一定的偏向. 另外，本研究作了三期的生态资产动态变化分析，要使它们具有真正意义上的可比性，还必须考虑时间价值

和贴现率的选择问题.

(iv) 为了使生态资产评估真正与生态环境建设与保护结合起来，人们可能更关心人为因素所造成的生态资产波动，因此，如何将影响生态资产变化的气候因素和人为因素分离出来，将是生态资产评估中的一个新研究内容.

致谢 本工作为中国科学院知识创新工程方向性项目(KZXC3-SW-327)和国家863课题(2002AA133061)资助.

参 考 文 献

1 Costanza R, darge R, deGroot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387: 253—260
2 Holdren J P, Ehrlich P R. Human population and the global environment. American Scientist, 1974, 62: 282—292
3 Potter C S, Randerson J T, Field C B, et al. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data. Global Biogeochemical Cycles, 1993, 7: 811—841
4 Sellers P J, Tucker C J, Collatz G J, et al. A global 10 by 10 NDVI data set for climate studies part 2: the generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from the NDVI. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(17): 3519—3545
5 Field C B, Randerson J T, Malmström C M. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. Remote Sensing of Environment, 1995, 51: 74—88
6 Prince S D, Goward S N. Global primary production: a remote sensing approach. Journal of Biogeography, 1995, 22: 815—835
7 Gretchen C, Daily T, Soderqvist D, et al. The value of nature and nature of value. Science, 2000, 289: 395—396.
8 李金昌，姜文来，靳乐山，等. 生态价值论. 重庆：重庆大学出版社，1999. 56—98
9 邓时琴. 中国土壤质地图. 见：中国土壤图集. 北京：地图出版社，1986. 23—24
10 张新时. 植被的 PEP(可能蒸散)指标与植被-气候分类(二)——几种主要方法与 PEP 程序介绍. 植物生态学与地植物学报，1989, 13(4): 107—207
11 周广胜，张新时. 中国气候——植被关系初探. 植物生态学报，1996, 20(2): 113—119
12 中国生物多样性国情研究报告编写组编. 中国生物多样性国情研究报告. 北京：中国环境科学出版社，1998. 191—210
13 薛达元，包浩生，李文华. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估. 中国环境科学，1999, 19(3): 247—252
14 欧阳志云，王效科，苗鸿. 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. 生态学报，1999, 19(5): 607—613
15 孙刚，盛连喜，周道玮. 生态系统服务及其保护策略. 应用生态学报，1999, 10(3): 365—368
16 郭中伟,李典谟. 生物多样性经济价值评估的基本方法. 生物多样性，1999, 7(1): 60—67
17 徐衡，李红继. 对绿色 GDP 核算的几点看法. 天津财经学院学报，1999, 12: 48—51
18 孙刚. 生态系统服务的核算方法. 云南环境科学，2000, 19(增刊): 70—72
19 薛达元，包浩生，李文华. 长白山自然保护区生物多样性旅游价值评估研究. 自然资源学报，1999, 14(20): 140—145
20 赵景柱，肖寒，吴刚. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析. 应用生态学报，2000, 4(2): 290—292
21 陈仲新，张新时. 中国生态系统效益的价值. 科学通报，2000, 45(1): 17—22
22 谢高地，鲁春霞，成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展. 资源科学，2001, 11(6): 5—9
23 蒋菊生. 生态资产评估与可持续发展. 华南热带农业大学学报，2001, 7(3): 41—46
24 桓曼曼. 生态系统服务功能及其价值综述. 生态经济，2001, 12: 41—43
25 李双成，郑度，张钇锂. 环境与生态系统资本价值评估的区域范式. 地理科学，2002, 22(3): 270—275
26 段绍光，吴明作，王慈明，等. 河南省天然林保护工程效益评价分析. 北京林业大学学报(社会科学版)，2002, 1(4): 38—41
27 沙万英，邵雪梅，黄玫. 20 世纪 80 年代以来中国的气候变暖及其对自然区域界线的影响. 中国科学，D 辑，2002, 32(4): 317—326
28 陈百明，黄兴文. 中国生态资产评估与区划研究. 中国农业资源与区划，2003, 24(6): 20—24.
29 张军连，李宪文. 生态资产估价方法研究进展. 中国土地科学，2003, 17(3): 52—55.
30 戴波，周鸿. 生态资产评估理论与方法评介. 经济问题探索，2004, 9: 18—21
31 潘耀忠，史培军，朱文泉，等. 中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量. 中国科学，D 辑，2004, 34(4): 375—384
32 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. 地球科学进展，2002, 17(2): 169—173

(2006-02-16 收稿，2006-03-02 收修改稿)