

基于能值理论的生态资本价值

——以阜康市天山北坡中段森林区生态系统为例

李海涛^{1,2}, 许学工^{1,2}, 肖笃宁³

(1. 北京大学资源环境地理系, 北京 100871; 2. 教育部地表过程重点实验室 北京大学, 北京 100871;
3. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

摘要:能值理论是美国生态学家 H. T. Odum 依据系统生态学的基本原理和方法提出的, 它通过对生态系统能量-价值过程的分析, 为生态经济学的研究提供了新的理论和方法。以能值理论为基础, 以位于阜康市的天山中段北坡森林区生态系统为研究对象, 对系统生态资本的能值流量、资本存量进行了初步的研究, 同时, 对生态系统服务价值和系统的生态安全也进行了延伸研究。研究结果表明, 这里每年的能值流量达 6.36×10^{20} sej, 相当于货币流 2.61 亿美元; 其中输入能流 2.01×10^{20} sej, 占系统总能流的 31.58%; 系统滞留能流 1.85×10^{20} sej, 占 29.01%; 输出能流 2.51×10^{20} sej, 占 39.41%。这说明生态系统对能量具有放大作用, 进入生态系统的能量虽然在量上没有变化, 但却发生了质的变化, 低质的能量变成了高质的能量, 而且生态系统越复杂, 这种转换效率越高。生态资本存量达 9.97 亿美元, 主要存在于土壤中, 占资本总量的 90.69%, 其次是淡水。这说明水、土是生态系统之本, 植被之价值不在于其本身, 而在于其保持水土的功能。在延伸研究中, 生态系统服务价值为 1.19 亿美元, 其中涵养水源 4780 万美元, 占总价值的 40.25%, 保持土壤 5580 万美元, 占 46.99%。研究还表明目前研究区生态系统处于较为安全的状态, 但面临的挑战很大。

关键词:能值; 生态资本价值; 资本能流; 资本存量; 服务功能价值; 生态安全

文章编号: 1000-0933(2005)06-1383-08 中图分类号: Q149, S718 文献标识码: A

Study on the value of ecological capital based on the emery theory: A case study on the forest ecosystem in the middle part of the north slope of the Tianshan Mountain

LI Hai-Tao^{1,2}, XU Xue-Gong^{1,2}, XIAO Du-Ning³ (1. Dept. of Resource, Environment and Geography, School of Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Laboratory for Earth Surface Processes (LASP), Peking University, Beijing 100871, China; 3. Institute of Applied Ecology, CSC, Shenyang 110015, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1383~1390.

Abstract: The emery theory was founded by H. T. Odum, an American ecologist. The emery theory is based on the theory and methods of the System Ecology. The theory holds that the maintenance and evolution of an ecosystem depends on energy. However, when the energy transfers from lower levels to higher ones, there will be a great loss in the process. So, forming 1J higher quality energy will need a large amount of lower quality energy. In other words, different forms of energy have different attributions. By dealing with the energy-value-process of ecosystem, the theory provides us with a new approach to the economic ecology. This paper attempts to develop a new method to study the function and value of ecological capital by focusing on the forest ecosystem in the middle part of the northern slope of the Tianshan Mountain in Fukang, Xinjiang Autonomous Region based on the Emery Theory. This paper deals with four aspects of ecological capital: emery flows,

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(90102004); 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX3-SW-326)

收稿日期:2004-04-08; **修订日期:**2005-01-06

作者简介:李海涛(1971~), 河南人, 硕士, 主要从事资源可持续开发与管理研究。E-mail: lihaitao@sina.com

致谢:新疆生态地理研究所李彦研究员在实地考察中给予了大力协作, 北京大学王宏红教授和 Howard 大学的 Lunique 博士给予很大的帮助, 特此致谢!

Foundation item: National Science Key Foundation(No. 90102004), Knowledge Innovation Item of CAS(No. KZCX2-405)

Received date: 2004-04-08; **Accepted date:** 2005-01-06

Biography: LI Hai-Tao, Master, mainly engaged in sustainability exploitation and management of resources. E-mail: lihaitao@sina.com

ecological capital deposit, ecosystem service value, and ecological safety. Emergy flows are new quantities of ecological capital every year. Ecological capital deposit is the total capital quantity of an ecosystem. Ecosystem service value includes not only emergy flows, but also some dummy emergy flows. Ecological safety is related to the input and output of system emergy. If emergy input into ecosystem was more than its output, the ecosystem would be safe; on the other hand, if emergy input into ecosystem is less than the output, the ecosystem would be unsafe. Although the quantity of the energy which passes through the system does not change, the quality may be enhanced. In other words, due to the processes in the ecosystem, lower quality energy may become higher quality one. Following the improvement of the complexity of the ecosystem, this translation ratio is higher and higher. This study shows that the emergy flows of the study region are about 6.36×10^{20} sej/a, or about US \$ 261 000 000. The capital deposit reaches about 2.43×10^{22} sej, or about US \$ 997 000 000, which is mainly in soil which accounting for about 91% of the total. The second is water. This shows that the soil and water holding are the main function of the ecosystem. There are still two problems involved: (1) the value of the forest ecosystem services, and (2) the safety of the ecosystem. The value of the forest ecosystem services reaches about US \$ 145 000 000. The main is water holding, US \$ 47 800 000, which accounts for 40.25% of the total, and soil conservation, US \$ 55 800 000, which accounts for 46.99% of the total. This study also shows that the ecosystem is safe at present, but it may be threatened when faced with tourism exploitation.

Key words: emergy; the ecological capital value; emergy flows; ecological capital deposit; ecosystem service value; ecological safety

物品的价值是由形成物品的消耗决定的。对于某种物品而言,不论是商品还是生态系统,对其投入越多,其价值也就越大。这种投入即包括自然投入,也包括社会投入。对于社会投入,人们有很准确的计量方法,但对于自然投入,人们却很难从价值方面进行客观的定量分析。20 世纪 80 年代,美国生态学家 H. T. Odum 提出的能值理论为生态系统价值的客观定量研究提供了一条新的思路。

1 问题的提出

资本是在一个时间点上存在的物资或信息的存量^[1]。生态资本就是生态系统资源的物质、能量和信息的储存。产业资本的作用是能够带来剩余价值,生态资本的作用是能够为社会和自然环境提供服务。从这个层面上来讲,生态资本和产业资本在本质上是一致的。这是因为任何一种资本形式,不论是产业资本,还是信息资本、技术资本、人力资本或生态资本,其资本存量形式或自主地或与其它资本存量的服务一起产生一种服务流,这种服务流可用于转化物质或物质的空间配置以增进人类的福利^[1]。

生态系统是人类社会赖以生存和发展的物质基础。它既为人类社会提供各种物质形态的产品,也提供各种无形的产品和服务。这些有形的或无形的产品或服务,有的可以在市场上表现出其价值,但更多的,尤其是无形的产品和服务价值,不能通过市场的形式来表现。正是由于这一原因,其价值往往被忽视,导致生态资源开发和利用上的短期行为,使生态环境遭到不可逆转的破坏。

但生态系统价值量的定量分析是一项困难的工作,尽管前人进行了不少尝试,取得了卓有成效的进展,但仍然不尽完善。目前对生态系统价值进行定量的方法,包括市场价值法、意愿调查法和价值补偿法等都存在这样的问题:它们都受人为因素的影响。市场价格受供求关系的影响;支付意愿受审美观点和经济发展水平的制约;价值补偿对象选择的不同,其价值量也会相差很多。正是由于这些原因,在计算生态系统服务功能价值时,由于采取不同的替代方法,其价值量往往相差很大。为了协调人类与生态系统之间的关系,需要一种方法来对生态系统进行较为客观的定量评价,这种方法要尽量不受人为因素的影响。

2 能值的基本概念和原理

能值是从生态系统食物链和热力学原理中引申出来的重要概念。它是衡量不同类型能量能质的尺度,与系统的能量等级密切相关。生态系统是一种自组织的能量等级系统,能量在食物链中传递、转化的每一过程中,根据热力学第二定律,均有许多能量耗散流失。因此,随着能量从低等级的太阳能转化为较高质量的绿色植物的潜能,再传递、转化为更高质量、更为密集的各级消费者的能量,在能量数量的递减的同时,伴随着能质和能级的提高。能值理论就是在不同的能量等级之间建立联系。基于这样的基本原理,美国生态学家 H. T. Odum 提出了能值(emergy)的概念:能值实质上是一种包被能(embodied energy, emergy 一词即由此而来),即“一种流动或储存的能量所包含另一种类别能量的数量”^[2,3]。这样,不同质的能量之间就存在一个转换关系

能值转换率。为了使用的方便,在实际应用中,常以太阳能值(Solar emergy)来衡量某一能量的能值,即“任何流动或存储的能量所包含的太阳能之量”^[2],单位是太阳能焦耳(sola emjoules, sej)。以此为基础,能值理论形成了自己的一套基本概念(表 1)。

3 研究区概况

天山山系对新疆生态安全具有至关重要的作用。天山山脉的北坡由于来自于北冰洋的冷湿气流、西风环流和天山山地的共同作用,降水较为充沛,景观类型多种多样,成为北疆干旱区主要的水源涵养地。本研究主要以位于阜康市境内的天山中段北坡森林区生态系统为研究对象。这里所指森林生态系统不仅包括各种林地,还包括位于林区的水体、林间草甸和林区周围与林地相连的草地。该研究区主要包括水磨河、三工河、甘河子、白杨河、西沟河和黄山河流域的上游,海拔 1500~2700m,上部高寒草甸可延伸到海拔 3600m。研究区总面积 105745hm²,其中林地面积 16140hm²(有林地 9610hm²、疏林地 4419hm²、灌木林地 2111hm²),山地草甸面积 89360hm²(高寒草甸 49733hm²、亚高山森林草甸 39627hm²),水面面积 245hm²。这里的河流虽然流程短,但由于上下游相对高差悬殊,自河源到河口尾湖依次分布着高山冰雪带、亚高山冰缘草甸带、中山森林带、低山半荒漠带—荒漠带、平原荒漠、绿洲及沙漠等,自然带图谱完整。尤其是三工河流域,不仅有著名的天山天池,而且有天山最高峰博格达峰。这里高山、冰川、湖泊相映成趣,已成为我国著名的旅游名胜之一,并且被列入国际“人与生物圈”(MAB)研究计划。这里海拔较高,气候湿冷,年均温 2.1℃,年降水量 530mm,太阳年辐射量 $5.56\times 10^9\text{J}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ^①;土壤以灰褐色森林土、草甸土为主,有机质含量高。

表 1 能值分析的基本概念^[2,3]

术语 Glossary	定义 Definitions
能值 Energy	产品形成所需要直接和间接投入的有效能总量(emj)
太阳能值 Solar Energy	产品形成所需直接和间接应用的太阳能总量(sej)
太阳能值转换率 Solar Transform ratio	单位能量(物质)所含的太阳能值之量(sej/J, sej/g)
能值货币比率 Emery/US\$ ratio	单位货币相当的能值量;由一个国家年能值利用总量除以当年 GNP 而得(sej/US\$)
能值-货币价值 Emdollar Value	能值相当的市场货币价值,即以能值来衡量财富的价值或称宏观经济价值(US\$)

4 生态资本价值能值分析

4.1 生态系统能流分析

生态系统能流包括输入能流和输出能流。研究区的能量输入包括太阳辐射、降水(包括雨水势能和雨水化学能)和深层地热等可更新能源。同时还包括企业投资和政府预算。能量输出主要包括生态系统的第一性生产、土壤的形成和流失以及旅游业收入等(图 1)。

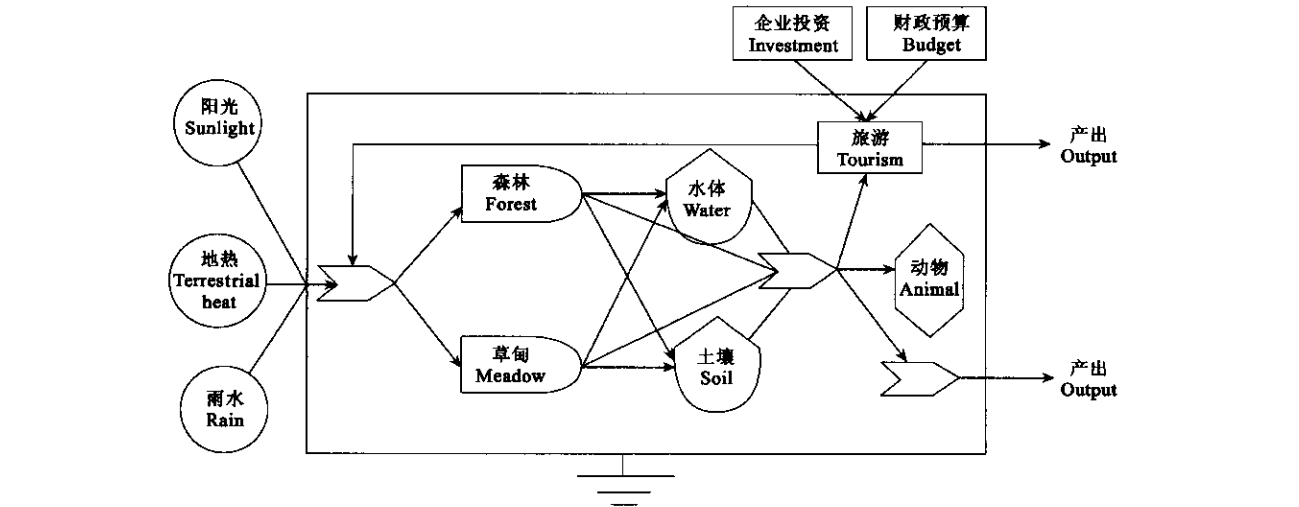


图 1 阜康市山地森林区生态系统能量系统分析

Fig. 1 Energy system analysis of forest ecosystem in Fukang, Xinjiang Autonomous Region

4.1.1 输入能流 系统输入能流是生态系统得以维持和发展的原始驱动力,包括自然能流和人工能流。这些能流不仅能促进生态系统组分的新陈代谢,其中一部分还能滞留在系统中,使系统进一步向有序化方向发展。但输入能流并非都是有益的,其中也有干扰能流,如不正当的开发活动、自然输入能流的异常波动(如洪水、大风、泥石流等自然灾害)。本研究区的输入能流中,自然能流主要包括太阳辐射、雨水势能、雨水化学能和地热能;人工能流主要包括森林养护和旅游开发投入。

① 康市党史地方志编纂委员会编. 阜康县志. 新疆人民出版社, 2001

4.1.2 输出能流 能流的输出是系统新陈代谢的诱导因素,为输入能流提供发挥作用的空间,是系统得以稳定的必要条件。输出能流一般包括系统的物质产出(如有机物的收获)和组分流失(如土壤流失)。但如果在系统中输入相应的干扰能流,会增加能流的输出(如森林采伐、农业生产、旅游开发和自然灾害)。本研究区的输出能流主要考虑两种:土壤流失和旅游收入。

4.1.3 滞留能流 滞留能流是指输入能流进入系统后,转化为系统组分的一部分,停留在系统中的输入流。滞留能流是系统向有序化方向发展的物质基础。能流在系统中的滞留一般是通过有机物的生长和土壤的形成来实现的。

4.1.4 能流分析 计算表明(表 2),这里每年的能值流动量为 6.36×10^{20} sej,其中输入能流 2.01×10^{20} sej/a,输出能流 4.35×10^{20} sej/a。但是在输出能流中,并非所有的能流都离开了系统,还有一部分滞留在系统之中,以维持系统的稳定并向有序化方向

表 2 阜康市山地森林区生态系统能流分析

Table 2 Energy flow analysis of forest ecosystem in Fukang, Xinjiang Autonomous Region

编号和项目 Number&Item	能量流 Energy flows (J or g)	能值转换率 Transform ratio (sej/J,sej/g)	太阳能值 Solar Emergy (sej)	能值货币价值 Emdollar Value (US\$)	所占比重 Proportion (%)
输入能流 Flows input					
(1) 太阳辐射 Solar energy	6.88×10^{15}	1	6.88×10^{18}	2.82×10^5	1.08
(2)雨水势能 Potential energy of rain	3.30×10^{15}	8.89×10^3	2.93×10^{19}	1.20×10^5	4.61
(3)雨水化学能 Chemical energy of rain	1.11×10^{15}	1.54×10^4	1.71×10^{19}	7.01×10^5	2.69
(4)地热能 Terrestrial heat	1.40×10^{15}	6.06×10^3	8.48×10^{19}	3.48×10^5	1.33
(5)旅游投入 Tourism investment			1.27×10^{20}	5.21×10^5	19.98
(6)森林养护 Forest protection			1.20×10^{19}	4.92×10^5	1.89
小计 Subtotal(1)			2.01×10^{20}	8.23×10^6	31.58
滞留能流 Flows deposit					
(7) 土壤形成 Soil form	3.30×10^{10}	1.70×10^9	5.61×10^{19}	2.30×10^6	8.82
(8)山地草甸 Meadow in mountainous region	2.77×10^{15}	2.61×10^4	7.23×10^{19}	2.96×10^6	11.36
(9)活立木 Stumpage	6.47×10^{14}	3.49×10^4	2.26×10^{19}	9.26×10^5	3.55
(10)其他林分 Other sections of trees	1.10×10^{15}	3.05×10^4	3.36×10^{19}	1.38×10^6	5.28
小计 Subtotal(2)			1.85×10^{20}	7.57×10^6	29.01
输出能 Flows output					
(11)土壤流失 Soil loss	2.00×10^{14}	7.40×10^4	1.48×10^{19}	6.07×10^5	2.33
(12)旅游收入 Tourism income			2.36×10^{20}	9.67×10^6	37.08
小计 Subtotal(3)			2.51×10^{20}	1.03×10^7	39.41
总计 Total			6.36×10^{20}	2.61×10^7	100

(1)太阳辐射=面积×辐射率=105745hm²×5.56×10⁹J/(m²·a)=6.88×10¹⁸J/a

(2)雨水势能=(面积)×(降水量)×(1-蒸发率)×(水密度)×(重力加速度)×(落差)
=(105745hm²×10⁴m²/hm²) (0.53m/a) (0.4) (10³kg/m³) (9.8m/s²) (1500m)=3.30×10¹⁵J/a

(3)雨水化学能=(面积)×(降水量)×(1-蒸发率)×(吉布斯自由能)
=(105745hm²×10⁴m²/hm²) (0.53m/a) (0.4) (4.94×10⁶J/m³)=1.11×10¹⁵J/a

(4)地热能=面积×地热传到率=105745hm²×1.32×10⁶J/m²=1.40×10¹⁵J/a

(8)山地草甸=(鲜草单产)×(面积)×(1-含水率)×(燃烧热)
=[(4125kg/hm²)(49733hm²)+(5633kg/hm²)(39627 hm²)](0.4)(10³g/kg)16.74kJ/g =2.77×10¹⁵J/a

(9)活立木=(活立木储量)×(生长率)×(密度)×(燃烧热)
=(1620144m³)(3.78%) (526kg/m³) (10³g/kg)20.09kJ/g=6.47×10¹⁴J/a

(10)其他林分=(林木附属物储量)×(生长率)×(1-含水率)×(燃烧热)
=[(9610hm²)(110.94t/hm²)+(6530hm²)(110.94t/hm²)(0.3)](7.8%) (0.6) (10⁶g/t)18.42kJ/g =1.10×10¹⁵J/a

(11)土壤流失=(单位面积土壤侵蚀量)×(面积)×(有机质含量)×(土壤有机质热值)
=[(9610hm²)(2t/(hm²·a))(5.39%)+(6530hm²)(2t/(hm²·a))(1.62%)+(49733hm²)(2t/(hm²·a))(5.02%)+(39627hm²)(2t/(hm²·a))(3.29%)](10⁶g/t)22.60kJ/g =2.00×10¹⁴J/a

* (8)中森林草甸面积 49733hm²,产草量 4125kg/hm²,高寒草甸面积 39627hm²,产草量 5633kg/hm²,水分含量 60%,燃烧热 16.74kJ/g
The area of subalpine meadow is 49733hm², and output is 4125kg/hm²; The area of alpine meadow is 39627 hm², and output is 5633kg/hm²; water Content is 60%, and burning efficiency is 16.74kJ/g;(9)中有林地活立木储量 1345429m³,年净生长率 3.78%,干材密度 0.526g/cm³(湿材密度 0.75g/cm³,含水 30%),燃烧热 20.09kJ/g Wood is 1345429m³, and grow is 3.78% each year; Density is 526kg/m³, and burning efficiency is 20.09kJ/g;(10)中其它林分包括枝、根、叶、果和林间凋落物,其中有林地储量达为 110.94t/hm²[2,4,5],疏林地(包括灌木林地)单位面积的蓄积量为有林地的 30%,年生长率 7.8%,水分含量 40%,燃烧热 18.42kJ/g^[6] Output of tree's other sections, forest is 110.94t/hm², and Sparse forest is 30% of forest; The grow of tree is 7.8% each year, water Content is 40%, and burning efficiency is 18.42kJ/g;(11)中土壤平均侵蚀量为 2t/(hm²·a)^[7],土壤有机质含量:有林地 5.39%,疏林地(包括灌木林地)1.62%,高寒草甸 5.02%,亚高山森林草甸 3.29%;土壤有机质热值 22.60kJ/g^[8] Eroded soil is 2t/hm²·a; Organic material in soil: forest is 5.39%, Sparse forest is 1.62%, alpine meadow is 5.02%, subalpine meadow is 3.29%, and burning efficiency is 22.60kJ/g

发展。这些能流包括土壤的形成和有机物积累。由于土壤的形成,在土壤中滞留的能流为 $5.61 \times 10^{19} \text{ sej/a}$ 。有机物积累主要是指森林的第一性生产。山地草甸植被由于每年的更新,积累的有机物主要以有机质的形式进入到土壤之中,这里可以不予计算。通过森林的生长,滞留在生态系统中的能流为 $5.62 \times 10^{19} \text{ sej/a}$ 。扣除系统滞留能流,则系统实际输出能流 $3.24 \times 10^{20} \text{ sej/a}$,输入输出比为 1 : 1.61。

通过分析,还可以发现以能值为单位,系统能流并不守恒,滞留和输出能流远大于输入能流。这说明生态系统对输入的能量具有改善作用,使低质的能量变成了高质的能量,虽然以能量为单位系统是守恒的,但是以能值为单位进行分析就会发现系统能量已经发生了质的变化。生态系统是一个具有生产能力的系统。按照资本运作的一般原理,资本在生产过程中能够实现增值。生态系统能值流的这种不守恒正是生态系统生产能力的反映。在生态系统中,随着生态系统复杂性的增加,系统改善输入能量的效率也会随之而增加。用经济学的原理来说,生态系统复杂性的增加,就是对生态资本劳动生产率的提高和产业链的延长。所以生态系统的投入产出比就会有相应的增加。

从价值角度来看,按照新疆的能值货币比率 $2.44 \times 10^{13} \text{ sej/US \$}^{[9]}$ 计算,这里每年能流的能值货币价值为 2610 万美元。从人类活动对自然生态系统的影响程度来看,每年的自然能流为 $2.62 \times 10^{20} \text{ sej}$,占系统总能值流的 41.1%;人类的社会经济活动(旅游业和森林看护)产生的能值流为 $3.75 \times 10^{20} \text{ sej/a}$,占系统总能值流的 58.9%。这说明该地区受人类活动的影响已经很大,甚至超过了自然因素的影响。从系统能流的构成来看,系统可更新资源的能值流(包括太阳辐射、降水、深层地热和总初级生产等)为 $1.91 \times 10^{20} \text{ sej/a}$,不可更新资源能值流(包括土壤形成、土壤流失、旅游业的投入产出和森林养护等)为 $4.46 \times 10^{20} \text{ sej/a}$,可更新不可更新资源能值流比为 1 : 2.34。

4.1.5 系统能流空间分析 从空间分布来看,这里的能流分布很不均匀(表 3,图 2)。首先,单位面积能流最大的是天池水体,能值流量达到 $9.29 \times 10^{17} \text{ sej/(hm}^2 \cdot \text{a)}$,相对应的价值量为 $38063 \text{ US \$ / (hm}^2 \cdot \text{a)}$ 。分析原因,主要在于这里大规模的旅游开发,使人工能流急剧增加,以至于自然、人工能流比达到 1 : 1590。分析还发现,在进行旅游开发的地区,能流的输出输入比都比

表 3 阜康市山地森林区不同生态类型能流分析						
Table 3 Spatial analysis to Emergy flows of forest ecosystem in Fukang,Xinjiang Autonomous Region						
项目 Items	小计 Subtotal	有林地 Forest	疏林地 Sparse forest	水体 Water	高寒草甸 Alpine meadow	亚高山森林草甸 Subalpine Meadow
(1)面积 Area(hm ²)	105745	9610	6530	245	49733	39627
(2)能值流 Emergy flows(sej)	6.36×10^{20}	1.60×10^{20}	1.92×10^{19}	2.28×10^{20}	9.90×10^{19}	1.31×10^{20}
(3)能值货币价值 Emdollar value(US \$)	2.61×10^7	6.55×10^6	7.87×10^5	9.33×10^6	4.06×10^6	5.37×10^6
(4)单位面积能流 Emergy flows per area (sej/hm ²)	6.02×10^{15}	1.66×10^{16}	2.94×10^{15}	9.29×10^{17}	1.99×10^{15}	3.31×10^{15}
(5)单位面积价值 Emdollar value per area(US \$ /hm ²)	247	682	120	38063	82	136
(6)能流输入输出比 input /output ratio	1 : 1.61	1 : 1.28	1 : 0.06	1 : 1.86	1 : 0.29	1 : 0.87

较高,基本都大于 1,即输出能值大于输入能值;而在未进行旅游开发的地区,该比值就远小于 1。说明由于人类的开发活动使得生态系统能流过度输出是系统退化的主要原因。而在未开发地区,系统能流输入大于输出,系统处于能量的积累过程之中。

计算结果表明,该地区生态资本的太阳能值储存量为 $2.43 \times 10^{22} \text{ sej}$,能值货币价值为 9.97 亿 US \$。从资本能值存量的构成来看,占份额最大的是土壤有机质,占到总量的 90.69%。其次是淡水。从生态资本的构成来看,不可更新资源(这里主要是土壤有机质)能值存量是可更新资源能值存量的 16 倍之多。这说明该地区的生态资本主要以不可更新资源为主。通过生态资本能值流量和存量的比较,可发现生态资本能值存量是其年流量的 101 倍。与全球平均状况(600 倍)相比,这里的生态资本更新速度还是比较快的。这说明这里的生态系统处于较为活跃的状态之中。

4.2 生态资本存量空间分布

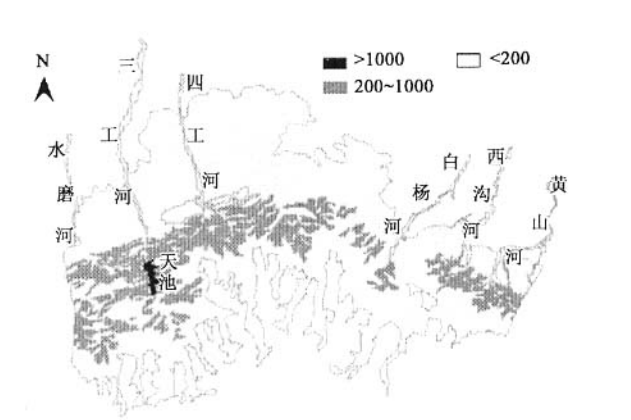


图 2 阜康市山地森林区生态系统能值货币价值空间分布 (US \$ /hm²)

Fig.2 Spatial distribution of Emdollar value of forest ecosystem in Fukang,Xinjiang Autonomous Region(US \$ /hm²)

研究区生态资本存量空间上的分布,与能值流在空间上的分布比较,差异不是很大(表4,表5,图3,图4)。单位面积价值量最高的是天池水体(71763US \$/hm²),然后依次是有林地(16104US \$/hm²)、高寒草甸(9791US \$/hm²)、亚高山森林草甸(7781US \$/hm²)、和疏林地(4441US \$/hm²),平均9467US \$/hm²。在计算中发现,影响单位面积生态资本价值量的关键因素是土壤。例如,土壤有机质含量高寒草甸>亚高山森林草甸>疏林地,单位面积生态资本价值也出现了相应的排序。从总价值量上来看,最高的是亚高山森林草甸(4.87亿美元),占到总价值量的48.9%,然后依次是高寒草甸(3.08亿美元)、有林地(1.55亿美元)、疏林地(0.29亿美元)和水体(0.176亿美元)。之所以出现这样的差异,主要与不同土地类型的面积有关。高寒草甸和亚高山森林草甸分别占到总面积的47.03%和37.47%,所以在生态资本存量总价值中所占的比重也比较大,分别为48.89%和30.96%。

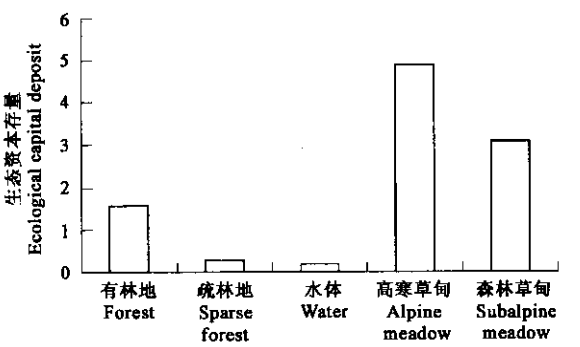


图3 阜康市山地森林区不同生态类型生态资本存量价值比较(亿美元)

Fig. 3 Ecological capital deposit comparison of different forest ecosystem types in Fukang(×10⁸ US\$)

表4 阜康市山地森林区生态系统生态资本存量分析					
Table 4 Analysis of ecological capital deposit of forest ecosystem in Fukang, Xinjiang Autonomous Region					
项目 Items	能量 Energy(J)	能值转换率 Transform ratio of energy(sej/J)	太阳能值 Solar energy(sej)	能值货币价值 Emdollar value (US\$)	所占比例 Proportion(%)
(1) 淡水 Fresh water	1.75×10 ¹⁵	6.66×10 ⁵	1.17×10 ²¹	4.78×10 ⁷	4.79
(2) 活立木 Stumpage	1.71×10 ¹⁶	3.49×10 ⁴	5.97×10 ²⁰	2.45×10 ⁷	2.45
(3) 其他林分 Other sections of trees	1.41×10 ¹⁶	3.05×10 ⁴	4.30×10 ²⁰	1.76×10 ⁷	1.77
(4) 山地草甸 Meadow in mountain regions	2.77×10 ¹⁵	2.61×10 ⁴	7.23×10 ¹⁹	2.96×10 ⁶	0.30
(5) 土壤有机质 Soil organism	2.98×10 ¹⁷	7.40×10 ⁴	2.21×10 ²²	9.04×10 ⁸	90.69
总计 Total	3.34×10 ¹⁷		2.43×10 ²²	9.97×10 ⁸	100.00

* (1)中降水量为530mm,蒸发量为60%,每年接收的实际降水量为2.24×10⁸m³;水体主(天池)面积245hm²,储水量1.30×10⁸m³;淡水的吉布斯自由能为4.94×10⁶J/m³,蕴藏的能量为1.75×10¹⁵J Rainfall is 530mm; Evaporation is 60%; Water area (Tianchi Lake) is 245hm²; The amount of water is 1.30×10⁸m³; Gibbs free energy is 4.94×10⁶J/m³; Total energy is 1.75×10¹⁵J;(2)中活立木蓄积量1620144m³,按表2计算方法,蕴藏的能量为1.71×10¹⁶J Wood is 1620144m³; Energy which is contained in it is 1.71×10¹⁶J;(3)中林木附属物在有林地蓄积量为110.94t/hm²,疏林地(包括灌木林地)蓄积量为33.3t/hm²,所蕴藏的能量为1.41×10¹⁶J The product of other sections of trees is 110.94t/hm²; The product of sparse forest is 33.3t/hm²; Energy which is contained in it is 1.41×10¹⁶J;(4)中山地草甸所蕴藏的能量为每年所产生的能流,即2.77×10¹⁵J Energy which is contained in meadow is 2.77×10¹⁵J;(5)中有林地和亚高山森林草甸土层平均厚度30cm,疏林地和高寒草甸土层平均厚度25cm,根据表2有机质含量和热值,可以计算出其所蕴藏的能量为2.98×10¹⁷J,其中有林地3.86×10¹⁶J,疏林地6.58×10¹⁵J,高寒草甸1.55×10¹⁷J,亚高山森林草甸9.73×10¹⁶J Energy which is contained in soil is 2.98×10¹⁷J; In which, forest is 3.86×10¹⁶J, sparse forest is 6.58×10¹⁵J, alpine meadow is 1.55×10¹⁷J, and subalpine meadow is 9.73×10¹⁶J

表5 阜康市山地森林区生态系统生态资本存量分析						
Table 5 Analysis of ecological capital deposit of different forest ecosystem type in Fukang, Xinjiang Autonomous Region						
项目 Item	小计 Subtotal	有林地 Forest	疏林地 Sparse forest	水体 water	高寒草甸 Alpine Meadow	亚高山森林草甸 Subalpine Meadow
(1)面积 Area(hm ²)	105745	9610	6530	245	49733	39627
(2)淡水 Fresh water(sej)	1.17×10 ²¹	6.70×10 ¹⁹	4.55×10 ¹⁹	4.29×10 ²⁰	3.47×10 ²⁰	2.76×10 ²⁰
(3)活立木 Stumpage(sej)	5.97×10 ²⁰	4.96×10 ²⁰	1.01×10 ²⁰			
(4)林木附属物 Attachments of trees(sej)	4.30×10 ²⁰	3.57×10 ²⁰	7.29×10 ¹⁹			
(5)山地草甸 Mountain meadow (sej)	7.23×10 ¹⁹				3.46×10 ¹⁹	3.77×10 ¹⁹
(6)土壤有机质 Soil organism(sej)	2.21×10 ²²	2.86×10 ²¹	4.88×10 ²⁰		1.15×10 ²²	7.21×10 ²¹
(7)总能值存量 Total emergy(sej)	2.43×10 ²²	3.78×10 ²¹	7.08×10 ²⁰	4.29×10 ²⁰	1.19×10 ²²	7.52×10 ²¹
(8)总价值 Total emdollar value(US\$)	9.96×10 ⁸	1.55×10 ⁸	2.90×10 ⁷	1.76×10 ⁷	4.87×10 ⁸	3.08×10 ⁸
(9)平均 Solar emergy per area (sej/hm ²)	2.30×10 ¹⁷	3.93×10 ¹⁷	1.08×10 ¹⁷	1.75×10 ¹⁸	2.39×10 ¹⁷	1.90×10 ¹⁷
(10)单位面积价值 Emdollar per area (US\$/hm ²)	9418	16104	4441	71763	9791	7781

5 讨论

运用能值理论,可以计算出生态系统的能流和生态资本存量。再以能流和生态资本存量为基础,还可以对生态系统进行其他方面的研究。这里对生态系统服务功能价值和生态安全的有关问题进行一些探讨。

5.1 生态系统服务价值

生态系统服务是指生态系统与生态过程所形成与维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[1]。从资本的角度来考虑,生态系统服务功能可以看作是生态资本作为资本运作时产生的利润。所以生态系统服务功能与生态系统能流之间是有区别的。其主要的不同之处在于生态系统能流既有输出流,又有输入流;既有对人类有利的能流,又有对人类有害的能流(如水土流失)。而生态系统服务都是输出能流,而且都是对人类有利的能流。另外,生态系统服务功能价值能流还有一部分是虚拟能流,如森林的水土保持,它虚拟的是森林减少土壤侵蚀这种有害能流的输出,而实际上这种有害能流并不存在。依据上述分析,对森林生态系统的几种主要的服务功能价值进行初步的估算。这里所涉及的生态系统服务功能主要包括有机物生产、涵养水源、水土保持、调节大气成分和观光旅游,计算结果列入表6。

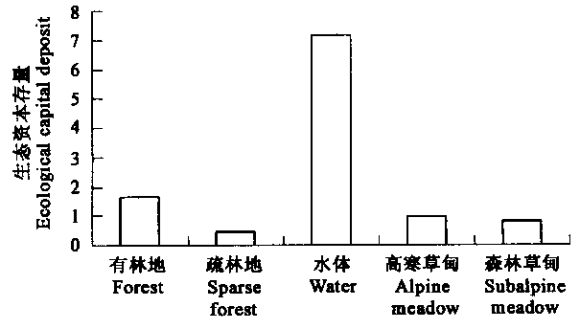


图4 阜康市山地森林区不同生态类型单位面积生态资本存量价值比较(万美元)

Fig. 4 Ecological capital deposit comparison of different forest ecosystem type in per area in Fukang($\times 10^4$ US\$)

外,生态系统服务功能价值能流还有一部分是虚拟能流,如森林的水土保持,它虚拟的是森林减少土壤侵蚀这种有害能流的输出,而实际上这种有害能流并不存在。依据上述分析,对森林生态系统的几种主要的服务功能价值进行初步的估算。这里所涉及的生态系统服务功能主要包括有机物生产、涵养水源、水土保持、调节大气成分和观光旅游,计算结果列入表6。

Table 6 The values of the forest ecosystem service functions in Fukang, Xinjiang Autonomous Region					
项目 Items	能量流/物质流 Energy/matter flows(J or g)	能值转换率 Transform ratio (sej/J,sej/g)	太阳能值 Solar emergy (sej)	能值货币价值 Emdollar value (US\$)	所占比例 Proportion (%)
(1)有机物生产 Organism production			1.29×10^{20}	5.27×10^6	4.44
(2)涵养水源 Water maintenance	1.75×10^{15}	6.66×10^5	1.17×10^{21}	4.78×10^7	40.25
(3)保持土壤 Soil holding	1.84×10^{16}	7.40×10^4	1.36×10^{21}	5.58×10^7	46.99
(4)释放 O ₂ O ₂ releasing	5.05×10^{10}	5.11×10^7	2.58×10^{18}	1.06×10^5	0.09
(5)吸收 CO ₂ CO ₂ absorbing	6.94×10^{10}	3.78×10^7	2.62×10^{18}	1.08×10^5	0.09
(6)游憩 Tourism			7.08×10^{19}	9.67×10^6	8.14
总计 Total			2.74×10^{21}	1.19×10^8	100.00

5.2 生态系统安全分析

生态安全的概念有广义和狭义之分。从广义方面来说,生态安全是指在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态。包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全,组成一个复合人工生态安全系统。从狭义方面来说,生态安全是指自然和半自然生态系统的安全,即生态系统完整性和健康的整体水平反映^[12]。从热力学原理方面来说,生态系统的安全性是由系统能量的收支情况所决定的。如果系统输入能流大于输出能流,即系统有负熵,系统就会向有序化方向发展,生态系统处于安全状态之中;如果系统输入能流小于输出能流,则系统就会退化,生态系统就处于不安全状态之中;如果系统输入能流等于输出能流,则系统处于临界状态。

这里存在生态安全隐患的地区主要集中在天池景区,其他地区基本还处于原始状态,生态系统受到人类活动的影响很小。天池景区面积 12761hm²,其中有林地 6555hm²,主要为雪岭云杉;游览区面积 666hm²(其中水面 275hm²),其他为亚高山森林草甸,面积 5540hm²。

依据美国生态学家 Brown. M. T 和意大利生态学家 Ulgiati. S 提出的可持续发展指标 ESI:

ESI = EYR / ELR = (Em_T / (Em_RI + Em_F)) / ((Em_F + Em_N) / (Em_RI + Em_R)) = 0.3548

式中,EYR 为能值产出率,ELR 为环境负载率,Em_T(能值产出量)=7.25×10¹⁹sej/a,Em_{RI}(为人类社会经济活动投入的可更新资源能值)=1.93×10¹⁸sej/a,Em_F(人类社会经济活动投入的不可更新资源能值)=3.82×10¹⁹sej/a,Em_R(自然环境投入的可更新资源能值)=6.83×10¹⁸sej/a,Em_N(自然环境投入的不可更新资源值)=6.41×10¹⁸sej/a。

Brown. M. T 和 Ulgiati. S 认为,当 ESI<1 时,系统还处于可持续发展状态之中;当 1<ESI<10 时,系统就处于不可持续的危險状态。由于 ESI=0.3548<1,所以生态系统仍处于安全状态之中。虽然如此,由于人类活动的不断加强,这里的生态安全问题仍不能忽视。

References:

[1] Costanza R, *et al.* The value of the world(s ecosystem services and nature capital. *Nature*,1997,**287**:253~260.

[2] Lan S F. *Emergy analysis of ecosystems*. Beijing: Chemical Industry Press,2002.

[3] Lan S F,Qin P. Emergy analysis of ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2001,**12**(1):129~131.

[4] Wang Y,Zhao S D. Biomass and net production of *Picea schrenkiana* var. tianshannica forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(4):389~391.

[5] Li X Y. A study of litter and forest floor in Tianshan Mountain. *Acta Pedologica Sinica*, 1997,**34**(4):406~417.

[6] Reis H,Hikate R H. translated by Wang Y J. *The First Productivity of the Biosphere*. Beijing:Science Press,1985.

[7] Wang X K,OuYang ZH Y,Xiao H, *et al.* Distribution and division of sensitivity to water caused soil in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001,**21**(4):550~560.

[8] Browm MT, Sergio Uigiati. Emergy evaluation of the biosphere and Natural capital. *Ambio.* , 1999,**28**(6):486~494.

[9] Li H T,Yan M CH, Study on emergy evaluation and sustainable development of ecological(economic system of Xinjiang. *Arid Land Geography*,2001,**24**(4):289~296.

[10] Zhou B B, Li ZH K. *The forest resource value of Beijing*. Beijing: Forestry Press,2000.

[11] Niu Y,Ge J Y. Forest ecological function and economic value of Qianlian Mountain. *Gansu Science and Technology*,2003,**19**(2):66~68.

[12] Xiao D N, Chen W P, Guo F L. On the basic concepts and contents of ecological security. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2002, **13** (3): 354~358.

[13] Odum H T. translated by Jiang Y X, Xu D Y. *System ecology*. Beijing:Science Press, 1993.

参考文献:

[2] 蓝盛芳,等.生态经济系统能值分析.北京:化工工业出版社,2002.

[3] 蓝盛芳,钦佩.生态系统的能值分析.应用生态学报,2001,**12**(1):129~131.

[4] 王燕,赵士洞.天山云杉林生物量和生产力的研究.应用生态学报,1999,**10**(4):389~391.

[5] 李叙勇,等.天山森林凋落物和枯枝落叶层的研究.土壤学报,1997,**34**(4):406~417.

[6] 里思 H,惠特克 R H 著.王业遽译.生物圈的第一性生产力.北京:科学出版社,1985.

[7] 王效科,欧阳志云,肖寒,等.中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究.生态学报,2001,**21**(1):14~19.

[8] Brown M T, 闵庆文,等.生物圈与自然资本的能值评价. AMBIO——人类环境杂志. 1999,**28**(6):486~494.

[9] 李海涛,严茂超.新疆生态经济系统的能值分析与可持续发展研究.干旱区地理,2001,**24**(4):289~296.

[10] 周冰冰,李忠魁.北京市森林资源价值.北京:中国林业出版社,2000.

[11] 牛云,葛军元.祁连山森林生态效能与经济价值评估牛.甘肃科技. 2003,**19**(2):66~68.

[12] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念和研究内容.应用生态学报. 2002,**13**(3):354~358.

[13] Odum H T 著.蒋有绪,徐德应,译.系统生态学.北京:科学出版社,1993.