

# 生态系统生态服务的供应与消耗平衡关系分析

董家华, 包存宽\*, 舒廷飞

(同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

**摘要:**目前对生态服务功能价值的研究主要集中在自然生态系统的供应方面,而对人工生态系统,尤其是建设用地系统对生态服务价值的消费或影响重视不够。在 Costanza 全球生态服务价值研究成果基础上,采用替代成本法、防治成本法、影子价格法等多种间接市场方法给出人工生态系统对生态服务消费或影响的估算方法,并结合江苏省太仓市的应用实例,研究其生态系统服务 1996~2003 不同年度变化的供应及消费情况,并在此基础上分析生态服务的平衡状况,结果显示,1996~2001 年间生态服务基本保持平衡,2001 年后生态净服务(供需相抵后的生态服务)呈急剧下降之势,建议在今后的社会经济活动中应适量降低活动强度,尽量维持区域生态服务的平衡。不单分析生态服务的供应状况,而是从整个生态系统生态服务的平衡着手,有利于引导人类的社会活动向维护生态服务的方向进行。

**关键词:**生态服务价值;供应;消耗;太仓市;平衡关系

**文章编号:**1000-0933(2006)06-2001-10 **中图分类号:**F062.2,Q14 **文献标识码:**A

## Analysis on the balance between supply and consumption of ecosystem services

DONG Jia-Hua, BAO Cun-Kuan\*, SHU Ting-Fei (College of Environmental Science and Engineering in Tongji University, Shanghai 200092, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 2001~2010.

**Abstract:** At present, research on the function and values of the ecosystem services has been focused on natural ecosystem, but as to manual ecosystem, especially construction land ones, those "consumptions" of and impacts on values of ecosystem services are not stressed enough. Based on parts of Costanza's results of ecosystem services value, this paper applied some indirect market means such as Substitution Cost, Prevention Cost, Shadow Price etc. to induce estimation methods of "consumptions" of and/or impacts on values of ecosystem services from manual ecosystem. By taking Taicang county in Jiangsu province as an application example, and identifying the functions of ecosystem services within this zone, and calculating the values of ecosystem services and consumption and / or impacts from constructional ecosystem through different years in the whole region, the balance of ecosystem services was analyzed. The results indicate that those ecosystem services from 1996 till 2001 kept basically their balances, but the pure ecosystem services (i.e. the ones after supply-requirement balance out) show toboggan tendency after 2001. It is advised that density of socioeconomic activities should be reduced in order to keep the regional ecosystem services in balance. Eco-service values represent theoretical levels of eco-service value, and can not show the changes of the ecosystem as a result of outside influences, in order to maintain the ecosystem balance with socioeconomic activities, we must simultaneously take the balance between supply of ecosystem services from nature and the degree and size of influences on ecosystem by human activities on the constructional land.

**Key words:** the values of ecosystem services; supply; consumption; Taicang city; the balance relationship

**基金项目:**江苏省环境保护科技计划资助项目(2003083)

**收稿日期:**2005-04-28; **修订日期:**2006-03-10

**作者简介:**董家华(1972~)女,山东省枣庄人,博士生,工程师,经济师,主要从事生态规划与环境评价研究. E-mail: djiahua@sohu.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: baock@mail.tongji.edu.cn

**Foundation item:** The project was supported by Science and Technology Project for Environmental Protection of Jiangsu Province (2003083)

**Received date:** 2005-04-28; **Accepted date:** 2006-03-10

**Biography:** DONG Jia-Hua, Ph.D. candidate, Engineer, mainly engaged in ecological planning and environmental impact assessment. E-mail: djiahua@sohu.com

生态系统是生命支持系统,人类经济社会赖以生存发展的基础,人造资本和人力资本都需要依靠自然资本来构建。生态系统服务和自然资本对人类的总价值是无限大的,但由于生态系统服务价值通常无法在市场中加以显化,我们对它的认识和估算也就变得困难重重。随着生态经济学、环境和自然资源经济学的发展,生态学家和经济学家在评价自然资本和生态系统服务的变动方面做了大量研究工作,将评价对象的价值分为直接和间接使用价值、选择价值、内在价值等,并针对不同的评价对象提出并发展了直接市场法、替代市场法、假想市场法等评价方法<sup>[1]</sup>。鉴于生态服务过程的复杂性和生态功能的多重性,生态系统服务价值的估算一直是生态系统服务功能研究的重点和难点。Costanza 等人<sup>[2,3]</sup>关于全球生态系统服务与自然资本价值估算的研究工作,进一步有力地推动和促进了关于生态系统服务的深入、系统和广泛研究。近年来,国内在生态服务功能与价值估算方面研究也比较多,但由于我国生态系统受人为因素影响强烈,国内这方面的研究主要从土地利用状况的角度来分析和评估生态服务功能<sup>[4]</sup>。如欧阳志云等依据大量的基础研究,运用生态经济学方法,初步估算了我国陆地生态系统服务价值及其间接价值,对社会经济环境的研究和决策具有一定的参考价值<sup>[5]</sup>,宗跃光等从人类不同利用方式产生的价值量出发,结合我国实际和实例研究,分析了城市生态系统服务功能的价值结构<sup>[6]</sup>。

## 1 问题的提出

Costanza 等人关于全球生态系统服务功能价值的估算不失为生态服务功能研究的成功范例,而且对这门学科的发展具有重大的意义,这种测算方法主要考虑林地、草地、水域和耕地等自然或半自然系统所形成及维持人类来意生存的自然环境条件效用的大小,没有考虑建设用地这种完全人工生态系统对生态服务的影响和“消耗”,事实上,建设用地具有人工生态系统的双重属性,除本身的物质循环外,也对自然生态环境产生重要影响。随着人们对居住、工矿业、交通、仓储、公用设施等建设用地的需求不断增长,自然资源的消耗和生态服务的需求也在不断增加,与此同时,排放的生活垃圾和工业废物造成生态环境的污染和恶化,降低了自然、半自然生态系统服务功能的发挥。但另一方面,城市建设用地中的绿地、广场等人造景观对生态系统服务功能发挥正向影响,有的甚至具有较高的生态服务功能价值。

一般而言,不同类型的生态用地发挥的生态服务功效是不同的。近自然生态用地与原生状态最为接近,生物种类最丰富,保存的自动调节能力最强,生态服务功能最佳,但近自然生态用地多存在于特殊生境,只能在特定环境中发挥作用<sup>[7]</sup>。人工生态用地是按人的意愿和区域发展的环境要求建立起来的,目的是改善区域内部地环境质量和景观格局。与近自然生态用地不同,半自然或人工生态用地是人类对自然生态系统改造的结果,如农田、牧草场等,其主要功能是作为生产者提供各种自然产品,生态服务功能居于其次<sup>[8,9]</sup>。对于完全意义上的建设用地系统,人类的社会经济活动不但使其基本丧失了生态服务功能,一方面消耗大量的生态服务,同时对生态系统的负面影响在很大程度上波及到近自然、半自然及其它人工生态系统,导致这些生态系统的功能无法正常发挥,生态服务价值降低。如果不考虑建设用地对生态服务价值的影响和消耗,只计算自然生态系统的生态服务价值,往往会得出过高的评估结果,无法正确反映现有生态系统中生态服务的供需平衡关系。

## 2 生态系统服务供应与需求估算

按土地利用的方式和结果将生态系统分为生态用地系统和建设用地系统两类,生态用地系统一般是生态服务的提供者,而建设用地系统通常是生态服务的“消费者”。这里所指的生态用地系统主要包括耕地、林地、园地、水域,城镇建设用地中的人工景观绿化用地以及未利用土地等土地利用类型;建设用地系统又可分为居住用地、工矿用地、交通过地及其它建设用地等几类子系统。

### 2.1 生态系统服务价值的供应评估

**2.1.1 生态子系统生态服务价值单价的确定** 生态系统服务价值的单价即指单位面积所能提供的生态服务的价值,耕地、园地、林地、水面等生态系统服务单价主要参考 Costanza 给出的全球陆地生态系统的平均服务价值单价<sup>[2]</sup>。对于生态用地中的未利用土地和建设用地中的广场及绿化用地系统的生态服务价值则借鉴谢

高地的部分研究成果,并运用类比法来确定其生态系统服务功能单价。谢高地等人<sup>[10]</sup>参考 Costanza 等人提出的生态系统服务价值计算方法,根据中国草地生态系统的种类和现状,估计各类草地生态系统的各项生态服务功能价值,并计算出全国草地生态系统每年的服务价值。田刚等<sup>[11]</sup>对北京地区人工景观的生态服务价值进行了估算,得到北京人工草地和林木每年单位面积的生态服务价值分别为 1782 元和 3111 元。草地绿化用地和人工林地所能提供的生态服务功能分别与草地生态系统及林地生态系统类似,可以借鉴谢高地和田刚的有关研究成果。而未利用土地的景观及系统的结构、功能与沙质荒漠草原近似,因此将谢高地等人确定的沙质荒漠草原单位面积生态服务功能价值作为未利用土地的生态服务功能价值。

**2.1.2 生态服务价值的估算方法** 估算方法借鉴 Costanza 有关生态服务价值的计算模式,将单位生态系统的生态服务功能价值参数与统计的各类生态系统面积相乘来计算各区域的生态系统服务价值,其计算公式为:

$$V = \sum_{i=1}^{17} V_i = \sum_{i=1}^{17} \sum_{j=1}^6 S_j \times F_{ij} \quad (1)$$

式中,  $V$  为某区域生态系统服务功能总价值;  $V_i$  为各功能中第  $i$  类生态服务功能的总价值,根据 Costanza 等人的分类,  $i$  取 1~17;  $S_j$  为第  $j$  类生态系统的面积;  $F_{ij}$  为第  $i$  类生态服务功能第  $j$  类生态系统的单位面积的价值。

## 2.2 建设用地对生态服务价值的影响(或/和消耗)评估

从大系统的角度来看,建设用地作为整个生态系统的很大一部分,其对生态服务的消耗及对自然和半自然生态系统服务功能的发挥及其价值大小产生的影响应当专门考虑和计算。建设用地对生态服务的影响和消耗主要体现在大气调节、水分调节、废物处理和食物生产等各项功能方面,为此本文借鉴有关研究成果<sup>[12~18]</sup>,采用替代成本法、防治成本法、影子价格法等间接市场法来估算居住用地、工矿用地、交通用地等主要建设用地系统生态服务价值的影响和消耗的数量。

**2.2.1 对大气和气候调节价值的消耗或/和影响** 自然系统的大气和气候调节功能主要表现为绿色植物进行光和作用,固定  $\text{CO}_2$ ,同时释放  $\text{O}_2$ ,稳定大气、调节气候,而建设用地上人类的活动要不断消耗  $\text{O}_2$ ,释放  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$  等大气污染气体、温室气体,因此建设用地等人工生态系统使得整个生态系统大气和气候的调节价值不断减少。通常,建设用地对大气、气候等环境因素的影响是渐进的和缓慢的,影响的范围和程度也往往难以界定,所以要将这些影响完全定量化是不可能的,这里考虑从污染气体的排放和氧气的消耗两个方面来考察建设用地大气调节功能,估算其对生态服务价值影响(或消耗)的多少。

(1) 居民点用地 居民点用地的污染气体排放对生态服务价值的影响应用工程费用法,结合替代成本法进行估算,可采用以下公式:

$$Q_i = (E_i \times q_i - Q') \times P_e \quad (2)$$

式中,  $Q_i$  为居民点污染气体排放的价值影响(元);  $E_i$  为年度生活用能(t 标煤);  $q_i$  为单位标煤燃烧废气排放量(万  $\text{m}^3/\text{t}$ );  $Q'$  为生活废气集中处理量(万  $\text{m}^3$ );  $P_e$  为废气治理平均价格(元/万  $\text{m}^3$ )。

年度生活用能一般不包括电能、太阳能等清洁能源,以下同。根据有关研究,单位标煤燃烧废气排放量平均为 3.43 万  $\text{m}^3/\text{t}$ 。

居民点用地氧气消耗损失的生态服务价值借鉴工业制氧法的计算方法<sup>[18]</sup>:

$$V_{\text{O}_2} = E_i \times C_{\text{O}_2} \times P_{\text{O}_2} \quad (3)$$

式中,  $V_{\text{O}_2}$  为居民点用地氧气消耗价值(元);  $E_i$  为年度生活用能(t 标煤);  $C_{\text{O}_2}$  为单位标煤完全燃烧耗氧量(万  $\text{m}^3/\text{t}$ );  $P_{\text{O}_2}$  为工业制氧法氧气价格(元/万  $\text{m}^3$ )。

居民点用地对大气调节价值的影响或/和消耗可看作居民点污染气体排放的价值影响和居民点用地氧气消耗价值二者之和,即:

$$V_{\text{la}} = Q_i + V_{\text{O}_2} \quad (4)$$

式中,  $V_{ia}$  为居民点用地对大气调节价值的影响和消耗(元);  $Q_i$  为居民点污染气体排放的影响价值(元);  $V_{O_2}$  为居民点用地氧气消耗价值(元)。

(2) 工矿用地 采用防治成本法评估工业废气排放对大气调节价值的影响, 公式为:

$$Q_i = P_a \times (V_a - V') \quad (5)$$

式中,  $Q_i$  为工矿废气排放影响价值(元);  $P_a$  为工业废气处理价格(元/万  $m^3$ );  $V_a$  为年度工业废气排放总量(万  $m^3$ );  $V'$  为年度工业废气集中处理量(万  $m^3$ )。

马千脉、曹克瑜等<sup>[19]</sup>对 1997 年全国工业废气单位治理成本进行了计算, 结果为全国平均废气单位治理成本是 0.02165 元/ $m^3$ , 可将此计算结果作为工业废气处理平均价格, 根据式 2.5 算得未处理工业废气增加污染源治理损失。

同样, 运用工业制氧法计算工矿用地氧气消耗损失的价值, 计算式为:

$$U_{O_2} = P_e \times C_{O_2} \times P_{O_2} \quad (6)$$

式中,  $U_{O_2}$  为工矿用地氧气消耗损失的价值(万元);  $P_e$  为万元产值能耗(t 标煤/万元);  $C_{O_2}$  为单位标煤耗氧量(万  $m^3$ /t);  $P_{O_2}$  为工业制氧法氧气价格(元/万  $m^3$ )。

工矿用地对大气调节生态服务价值的影响或/和消耗为:

$$V_{ia} = Q_i + U_{O_2} \quad (7)$$

式中,  $V_{ia}$  为工矿用地系统对对大气调节价值的影响和消耗(元);  $Q_i$  为工矿用地废气排放影响价值(元);  $U_{O_2}$  为工矿用地氧气消耗损失的价值(元)。

(3) 交通用地 交通用地对大气影响的负面效应主要是汽车排放的 CO、碳氢化合物(HC)、氮氧化物和  $NO_2$  等尾气造成大气污染。首先依据世界银行技术研究项目 B-9-3 综合报告提供的机动车污染排放因子估算区域内机动车污染物的年排放量, 并在此基础上估算对大气调节生态服务价值的影响。

$$Q_t = - \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 C_{ij} \cdot q_i \cdot L_i \right) \times P_a \quad (8)$$

式中,  $Q_t$  为交通用地系统废气排放对大气调节价值的影响(万元);  $C_{ij}$  为某类机动车型某种污染平均排放因子( $m^3$ /km);  $q_i$  为某类机动车拥有量;  $L_i$  为某类机动车年平均里程(km);  $P_a$  为工业废气处理价格(元/万  $m^3$ )。

交通耗氧损失价值采用工业制氧法估算:

$$T_{O_2} = q_0 \times C_{O_2} \times P_{O_2} \quad (9)$$

式中,  $T_{O_2}$  为交通用地耗氧损失的生态服务价值(元);  $q_0$  为机动车年耗油量折合成标煤的数量(t);  $C_{O_2}$  为单位标煤完全燃烧耗氧量(万  $m^3$ /t);  $P_{O_2}$  为工业制氧法氧气价格(元/万  $m^3$ )。

交通用地大气调节的生态服务价值则为:

$$V_{ia} = Q_t + T_{O_2} \quad (10)$$

式中,  $V_{ia}$  为交通用地对大气调节价值的影响和消耗(万元);  $Q_t$  为交通用地系统废气处理价值(万元);  $T_{O_2}$  为交通用地耗氧损失的生态服务价值(万元)。

**2.2.2 对水分调节及水资源供给的影响(或/和消耗)价值评估** 建设用地的水分调节服务的影响主要表现为对地表径流和地面蒸发作用的改变, 而对生态系统水资源供给服务的消耗主要是水分的消耗。建设用地的地表径流和地面蒸发作用的影响可应用替代成本法并结合影子价格法、恢复费用法等进行估算, 采用替代成本法对水分消耗进行价值量化。

(1) 居住用地 建设用地的地表径流的影响主要表现在土壤植被条件的变化改变了地表径流条件增加了地

表径流量。居住用地地表径流的改变对水分调节及水资源供给的影响主要表现为正向效应,其大小可简略地用以下公式估算:

$$R_{w1} = P \times (a_i - a_f) \times A_i \times P_{af} \times 10^{-7} \quad (11)$$

式中,  $R_{w1}$  为居住用地地表径流的改变对水分调节及水资源供给价值的影响(万元);  $P$  为年平均降雨量(mm);  $a_i$  为居住用地年地表径流系数(%);  $a_f$  为农用地地表径流系数(%);  $A_i$  为居住用地面积( $\text{m}^2$ );  $P_{af}$  为农业用水价格(元/ $\text{m}^3$ )。

地面蒸发的改变对水分调节价值的影响应用以下公式计算:

$$R_{w2} = A_i \times (P_i - P_f) \times P_{af} \times 10^{-4} \quad (12)$$

式中,  $R_{w2}$  为居住用地蒸发条件的改变对水分调节价值的影响(万元);  $A_i$  为居住用地面积( $\text{hm}^2$ );  $P_i$  为单位面积硬化路面蒸发量( $\text{m}^3/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ );  $P_f$  为单位农用地平均蒸发量( $\text{m}^3/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ );  $P_{af}$  为农业用水价格(元/ $\text{m}^3$ )。

根据替代成本法原理,居住用地水分消耗的价值计算公式为:

$$R_{w3} = A \times P \times P_w \quad (13)$$

式中,  $R_{w3}$  为居民点水分消耗价值(万元); 为人均用水量( $\text{t}/\text{人} \cdot \text{a}$ );  $A$  为人口数(万人);  $P_w$  为生活用水价格(元/t)。

居住用地对水分调节及水资源供给的影响(和消耗)价值为:

$$R_w = -R_{w1} + R_{w2} + R_{w3} \quad (14)$$

式中,  $R_w$  为居住用地对水分调节及水资源供给地影响(和消耗)(万元);  $R_{w1}$  为居住用地地表径流的改变对水分调节及水资源供给价值的影响(万元);  $R_{w2}$  为居住用地蒸发条件的改变对水分调节价值的影响(元);  $R_{w3}$  为居民点水分消耗价值(万元)

(2) 工矿用地 同样道理,工矿用地对地表径流和地面蒸发作用影响价值的大小  $I_{w1}$ 、 $I_{w2}$  可参照公式 2.11 和 2.12 进行估算。

工矿用地水分消耗的生态服务价值  $I_{w3}$  可用以下公式估算:

$$I_{w3} = W_{i1} \times P_{i1} + W_{i2} \times P_{i2} \quad (15)$$

式中,  $I_{w3}$  为工矿用地消耗的水分调节价值(万元);  $W_{i1}$  为工业新鲜用水量(万 t);  $P_{i1}$  为工业新鲜用水平均价格(元/t);  $W_{i2}$  为工业中水回用量(万 t);  $P_{i2}$  为中水价格(元/t)。

则工矿用地对水分调节及水资源供给地影响(或消耗)价值为:

$$I_w = I_{w1} + I_{w2} + I_{w3} \quad (16)$$

式中,  $I_w$  为工矿用地对水分调节及水资源供给地影响(或消耗)价值(万元);  $I_{w1}$  为工矿用地地表径流的改变对水分调节及水资源供给价值的影响(万元);  $I_{w2}$  为工矿用地蒸发条件的改变对水分调节价值的影响(万元);  $I_{w3}$  为工矿用地消耗的水分调节价值(万元)。

(3) 交通用地 交通用地对水分调节价值的影响主要考虑硬化路面或裸露地面蒸发作用及地表径流的改变对水分调节及水资源供给的影响,前者的计算采用式 12,后者可参照公式 13 计算其对水分调节价值的影响,前者减去后者即为交通用地对水分调节及水资源供给影响或消耗的大小。

**2.2.3 建设用对废物处理价值的影响评估** 建设用地系统在日常的生产生活中不可避免地要产生各种废物,这些废物无形中增加了自然系统废物处理的负担,而且有可能在某种程度上阻碍其功能的实现。一般地,将人类生活、生产产生的废弃物分为废水、废气和固体废弃物三种,有关废气对生态服务价值的消耗或影响已在前面给出,这里主要考虑废水和固体废弃物两类,采用防治成本法计算其对生态服务功能中废物处理价值的影响及消耗。

(1) 居住用地 居住用地废水排放对生态服务价值影响的计算公式为:

$$V_{lw} = (A_w - A'_w) \times P'_{lw} \quad (17)$$

式中,  $V_{lw}$  为生活污水排放对生态服务价值的损耗(元);  $A_w$  为年度生活废水排放总量(t);  $A'_w$  为年度生活废水集中处理量(t);  $P'_{lw}$  为生活废水处理价格(元/t)。

固体废弃物处理的生态服务价值计算公式为:

$$V_{ls} = (A_s - A'_s) \times P'_{ls} \quad (18)$$

式中,  $V_{ls}$  为固体废物对生态服务价值的损耗(元);  $A_s$  为年度生活固体废物排放总量(t);  $A'_s$  为年度生活垃圾集中处理量(t);  $P'_{ls}$  为生活垃圾处理价格(元/t)。

垃圾的处理费用与垃圾类型以及垃圾的处理方式都有很大的关系, 填埋方式的费用约 40 元/t, 焚烧 200 元/t, 分拣 100 元/t, 堆肥 30 元/t。

居住用地对废物处理的生态服务价值的影响为:

$$V_l = V_{lw} + V_{ls} \quad (19)$$

式中,  $V_l$  为居住用地对废物处理的生态服务价值的影响(元);  $V_{lw}$  为生活废水排放对生态服务价值的损耗(元);  $V_{ls}$  为固体废物对生态服务价值的损耗(元)。

(2) 工矿用地 同样道理可计算工矿用地对废物处理价值的消耗。

其中废水排放对生态服务价值消耗的计算公式为

$$V_{iw} = P_{iw} \times (V_w - V'_w) \quad (20)$$

式中,  $V_{iw}$  为工矿用地废水排放对废物处理价值的消耗(元);  $V_w$  为年度工业废水排放总量(万吨);  $V'_w$  为年度工业废水处理量(t)。

马千脉、曹克瑜等<sup>[19]</sup>对 1997 年全国工业废水单位治理成本进行了计算, 其值为 27.141 元/t。

这里考虑采用工程费用法的估算方法来计算工矿用地未处理的固体废物对生态服务价值的影响或损耗, 计算公式为:

$$V_{is} = P_s \times (V_{s1} + V_{s2}) \quad (21)$$

式中,  $V_{is}$  为工矿固体废物堆存对废物处理价值的消耗(元);  $P_s$  为固体废物单位堆存费用(元/t);  $V_{s1}$  为固体废物当年堆存量(t);  $V_{s2}$  为固体废物往年堆存量(t)。

据相关资料统计, 全国平均固体废物单位治理成本为 80 元/t, 固体废物单位堆存费用为 45 元/t。

工矿用地系统对废物处理生态服务价值的消耗(或影响)为:

$$V_i = V_{iw} + V_{is} \quad (22)$$

式中,  $V_i$  为工矿用地系统对废物处理生态服务价值的消耗(元);  $V_{iw}$  为工矿用地废水排放对废物处理价值的消耗(元);  $V_{is}$  为工矿固体废物堆存对废物处理价值的消耗(元)。

**2.2.4 建设用地对食物生产价值的影响评估** Costanza 关于生态系统食物生产的功能描述为“基本总生产中的食品部分”, 包括通过捕猎、采集、耕作和捕捞生产鱼类、猎物、庄稼和果实<sup>[2]</sup>。建设用地的不断扩张大量占用能够实现这种功能, 提供这些生态服务的生态用地, 尤其是农用地, 从而也就大大降低生态系统的服务价值。关于建设用地对生态服务的负向影响可用影子价格法进行评估, 原理是构想一片同样面积的农用地(因建设用地主要是农用地转化而来, 这里只考虑农用地), 计算其食品生产的生态服务价值, 将该价值作为建设用地损失的食品生产的生态服务价值。各类建设用地对食物生产价值的影响大小可用以下公式表示

$$V_c = \frac{V_a \times A_c}{A_a} \quad (23)$$

式中,  $V_c$  为某类建设用地系统对食物生产的生态服务价值的影响(元);  $V_a$  为农用地食物生产的生态服务价值(元);  $A_a$  为农用地面积( $\text{hm}^2$ );  $A_c$  为某类建设用地面积( $\text{hm}^2$ );

## 2.3 生态系统服务价值的供需平衡

根据前面生态系统服务价值的供应及建设用地对生态服务价值的影响(或消耗)有关计算公式分别估算

出生态系统生态服务的价值供应量和建设用地对生态服务的消耗数量,供需相抵,分析区域生态系统的生态服务价值的供需平衡关系。

### 3 生态服务价值平衡分析的实证研究——以太仓市为例

#### 3.1 生态系统服务功能的识别

根据遥感图像提供的植被信息和土地利用方式及类型,将太仓市的自然生态系统划分为生态用地和建设用地两种类型,生态用地主要包括农用地等半人工生态系统和森林、水面等自然生态系统,建设用地主要由居民点(包括城镇居民点和农村居民点)、交通用地、独立工矿及其它建设用地等用地类型组成<sup>[18]</sup>。参考 Costanza 等人给出的生态系统服务功能类型,对区域生态系统服务功能进行了识别,各类生态系统及其服务功能见表 1。

表 1 太仓市生态系统及其服务功能识别

Table 1 Identification of ecosystem and its services in Taicang

| 生态服务功能 Ecosystem function     | 生态用地 Ecological lands |           |           |          |                   | 建设用地 Constructive land |                               |                   |                            |           |
|-------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------|-------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------|-----------|
|                               | 耕地 Infield            | 园地 Garden | 林地 Forest | 水面 Water | 未利用土地 Unused land | 居民点用地 Inhabited area   | 工矿用地 Industrial & mining land | 交通用地 Traffic land | 广场及绿化用地 Square & greenbelt | 其它 Others |
| 大气调节 Atmospherical adjustment | ✓                     | ✓         | ✓         | ✓        |                   | ×                      | ×                             | ×                 |                            |           |
| 气候调节 Climate amelioration     |                       |           | ✓         | ✓        |                   | ×                      | ×                             | ×                 | ✓                          |           |
| 水分调节 Water in-storage         | ✓                     | ✓         | ✓         | ✓        |                   |                        |                               |                   | ✓                          |           |
| 干扰调节 Interfere amelioration   |                       |           | ✓         |          |                   |                        |                               |                   | ✓                          |           |
| 水资源供给 Water supply            |                       |           | ✓         | ✓        |                   |                        |                               |                   | ✓                          |           |
| 侵蚀控制 Soil erosion control     | ✓                     | ✓         | ✓         |          |                   | ×                      | ×                             | ×                 | ✓                          | ×         |
| 土壤形成 Soil conservation        | ✓                     | ✓         | ✓         |          |                   |                        |                               |                   |                            |           |
| 营养循环 Nutrient removal         | ✓                     |           | ✓         | ✓        |                   |                        |                               |                   |                            |           |
| 废物处理 Waste treatment          | ✓                     | ✓         | ✓         | ✓        |                   | ×                      | ×                             | ×                 | ✓                          | ×         |
| 授粉 Pollination                | ✓                     | ✓         | ✓         |          |                   |                        |                               |                   | ✓                          |           |
| 生物控制 Biodiversity maintenance | ✓                     |           | ✓         |          |                   |                        |                               |                   | ✓                          |           |
| 生物庇护 Protection of wildlife   |                       |           | ✓         | ✓        |                   |                        |                               |                   | ✓                          |           |
| 食物生产 Food products            | ✓                     | ✓         | ✓         | ✓        |                   |                        |                               |                   | ✓                          |           |
| 原材料 Raw material              | ✓                     |           | ✓         |          |                   |                        |                               |                   |                            |           |
| 基因资源 Genetic pool             |                       |           | ✓         | ✓        |                   |                        |                               |                   |                            |           |
| 娱乐 Enjoyment                  |                       | ✓         | ✓         | ✓        |                   |                        |                               |                   | ✓                          |           |
| 文化 Culture                    |                       |           | ✓         | ✓        |                   |                        |                               |                   | ✓                          |           |

表中✓表示有此服务,对生态系统产生有利影响;×表示对生态系统服务的负面影响或消耗,空格表示暂未发现该种服务,或者数量极小,或者归入其他类别中 “✓” in this table denoted that this ecosystem service was exist and made positive effect on ecosystem, “×” denoted negative effects or consumption of ecosystem services;space denoted that a certain ecosystem service has not been found now or its quantity was too small or was merged into othes

#### 3.2 生态系统服务价值供应与/或消耗估算

根据前面所提供的生态用地系统服务价值的估算方法,确定太仓市各类生态用地系统的生态服务功能单价,结果见表 2。

表 2 太仓市各类生态用地系统单位面积服务价值

Table 2 The value of respective land ecosystem services per area in Taicang(RMB/(hm<sup>2</sup>·a))

| 生态服务功能 Ecosystem function | 耕地 Infield | 园地 Garden plot | 林地(亚热带) Forest | 水面 Water | 未利用土地 Unused land | 广场及绿化用地 Square& greenbelt |
|---------------------------|------------|----------------|----------------|----------|-------------------|---------------------------|
| 单位价值 Values per area      | 764        | 1739           | 8043           | 70533    | 87                | 4338                      |

\* 表中空白表示未发现某生态类型能提供此类功能,或很小且较难量化归入其它类,负号表示不利的影响 Space in this table denoted that this service provided by a certain ecosystem had not been found or its quantity was too small to be quantified and was merged into other ecosystem services;美元对人民币汇率按 100:827.72 计算 Exchange rate of dollar to RMB used in this table was 100:827.72

根据太仓市 1996 年至 2003 年土地利用情况,利用计算公式 2.1 和相关的参数,可以得到太仓市历史年生态服务价值。

表 3 1996~2003 年太仓市生态服务的供应情况(万元)

Table 3 Values supply of ecosystem services in Taicang from 1996 to 2003(10<sup>4</sup> Yuan RMB)

| 年份 Year           | 1996   | 1997   | 1998   | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 耕地 Infield        | 2793   | 2785   | 2806   | 2851   | 2994   | 2831   | 2829   | 2793   |
| 园地 Garden plot    | 117    | 116    | 117    | 118    | 120    | 120    | 121    | 117    |
| 林地 Forest         | 332    | 333    | 332    | 335    | 335    | 336    | 331    | 332    |
| 水面 Water          | 200046 | 200017 | 199866 | 199745 | 186412 | 200448 | 199115 | 200043 |
| 未利用土地 Unused land | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 合计 Total          | 203288 | 203251 | 203121 | 203049 | 189861 | 203735 | 202396 | 203285 |

根据以上 2.2-2.23 有关公式计算 1996~2003 年不同年份居民点用地、工矿用地、交通用地等建设用地子系统对有关生态服务功能价值影响和/或消耗情况,结果见表 4。

表 4 太仓市主要建设用地系统对生态服务价值的影响和消耗情况(万元/a)

Table 4 Calculation results of ecosystem services of each constructional land (10<sup>4</sup> Yuan RMB/a)

| 年份<br>Years | 居民点用地 Inhabited area |       |      |     |             | 工矿用地 Industrial & mining land |       |      |     |             | 交通用地 Traffic land |     |     |             |  |
|-------------|----------------------|-------|------|-----|-------------|-------------------------------|-------|------|-----|-------------|-------------------|-----|-----|-------------|--|
|             | 1                    | 2     | 3    | 4   | 小计 Subtotal | 1                             | 2     | 3    | 4   | 小计 Subtotal | 1                 | 2   | 4   | 小计 Subtotal |  |
| 1996        | 585                  | 15664 | 698  | 396 | 17343       | 845                           | 13028 | 3541 | 127 | 17541       | 92                | 188 | 122 | 402         |  |
| 1997        | 560                  | 16527 | 762  | 392 | 18241       | 827                           | 13458 | 3943 | 135 | 18363       | 96                | 195 | 126 | 417         |  |
| 1998        | 558                  | 14762 | 819  | 396 | 16535       | 809                           | 12959 | 2526 | 136 | 16430       | 112               | 201 | 128 | 441         |  |
| 1999        | 615                  | 20705 | 910  | 398 | 22628       | 845                           | 17104 | 3048 | 142 | 21139       | 115               | 206 | 130 | 451         |  |
| 2000        | 644                  | 20869 | 970  | 392 | 22875       | 1507                          | 10800 | 3301 | 171 | 15779       | 124               | 213 | 133 | 470         |  |
| 2001        | 839                  | 18755 | 1043 | 393 | 21030       | 2517                          | 21084 | 3765 | 175 | 27541       | 134               | 214 | 134 | 482         |  |
| 2002        | 878                  | 19344 | 1021 | 390 | 21633       | 2241                          | 48774 | 6766 | 181 | 57962       | 142               | 232 | 141 | 515         |  |
| 2003        | 945                  | 24283 | 1109 | 386 | 26723       | 2682                          | 58655 | 5602 | 209 | 67148       | 154               | 213 | 133 | 500         |  |

表中的 1、2、3、4 分别表示各类建设用地对生态系统中大气调节、水分调节、废物处理和食物生产等单项生态服务功能价值的消耗或/和影响  
1,2,3,4 in this table denote respectively individual values of ecosystem service. e. g. atmosphere regulation, water regulation, waste disposition and food production, etc. was influenced or/and was consumed by each constructional land

1996 年至 2003 年间太仓市生态系统生态服务的供应和消耗平衡关系可用图 1 表示。

### 3.3 生态系统服务的平衡分析

结合表 3 和图 1 可以看出,1996~2003 年期间,太仓市生态服务总价值的供应年度变化不大,其中耕地、园地和林地所提供的生态服务价值在整个生态用地生态服务价值中的比例较低,且年度间变化幅度较小;而水域是生态服务价值主要的贡献者,其所提供的生态服务价值占总体供应的 98% 以上,除在 2000 年出现较明显的下降外,整体变化幅度不大。1996~2003 年,各项建设用地对生态服务的“消费”或负向影响的价值呈上升趋势,尤其是工矿用地对大气调节、水分调节和废物处理等生态功能的影响价值在 2002 年出现了大幅度的增加,2003 年继续攀升,原因主要是从 2000 年年底开始,太仓市接连建造了几座大型的燃煤电厂,对能源(尤其是煤炭)、工业用水的需求迅猛增加,相应地,排放了大量的工业废弃物,因而对水分调节、大气调节和废物处理功能产生巨大影响;居民点对生态服务价值的影响没有明显的年度变化;广场绿化用地对生态服务价值

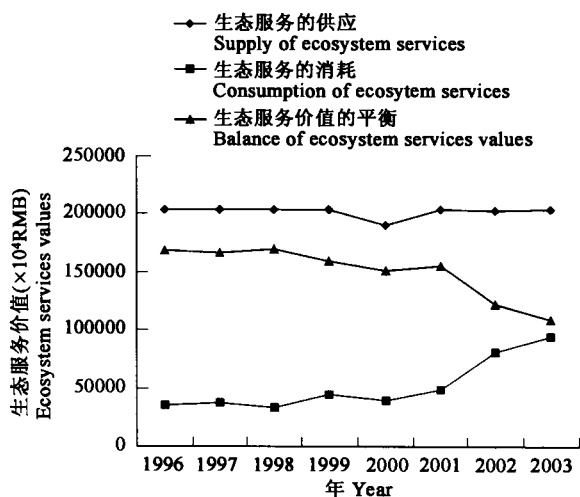


图 1 太仓市生态服务价值供应与消费平衡关系

Fig.1 Balance between supply and consumption of ecosystem services in Taicang

的贡献率在整个研究期间呈现平稳增长,这是该地区注重城市生态绿化的结果;虽然交通用地对生态服务价值的影响在建设用地的贡献率不高,但随着机动车的增加,年度增加趋势变化较快,在今后研究中应当引起注意。

生态服务价值的平衡曲线显示,1996~1998年,生态服务供应和消耗处于相对平衡状态,到2000年呈现较缓慢的下降趋势,而在2001年出现明显的拐点,然后呈急剧下降之势,这是由于建设用地对生态服务的大量消耗,打破了原有的相对平衡,因此在今后的社会经济建设活动中应考虑对生态系统产生影响的程度和大小,尽量维持生态服务的平衡。

很显然,生态系统所提供的生态服务价值主要代表了生态系统服务价值的理论水平,没有反映出生态系统受外界影响后的变动情况,而通过考虑了人类在建设用地上的活动并计算对生态服务价值的消耗情况,进而分析整个生态系统生态服务的平衡状况,有利于引导人类的社会活动向维护生态服务的方向进行。

#### 4 结语

自然生态系统服务价值由于基数很大,加之自身发展变化过程比较缓慢,所以自然生态系统的服务价值在一般情况下不会产生较大幅度的增减,但也正因为生态系统服务价值变化过程的缓慢性 and 渐进性,使得生态系统的服务功能一旦遭到减弱和破坏很难恢复。生态系统对外界的干扰和破坏反映很灵敏,人类社会经济活动的改变将会对生态服务功能产生重大影响,同时也在不断消耗着生态服务价值,前面实例可以证明这一点。因此只从自然生态系统本身来考虑整个生态系统的服务价值是不全面的,真实的生态系统与社会经济活动存在着千丝万缕的联系<sup>[20]</sup>,对一个研究区域,不但要计算其每年能提供的生态服务,还要估算出生态服务的消耗情况,分析生态服务的平衡及其变化趋势,一旦生态系统提供的生态服务无法补偿由于外界的干扰和消耗带来的损失,就表明生态服务已经“失衡”,应该降低消耗或减轻社会经济的影响对生态系统服务价值的负向影响,以维持生态服务的相对平衡。

#### References:

- [1] Li J C. Ecological Values Dissertation. Chongqing: Chongqing University Press, 1999. 58~67.
- [2] R. Costanza, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997(387): 253~260.
- [3] Costanza R. Instruction Special Section: Forum on valuation of ecosystem services the value of ecosystem services. *Ecological Economics*, 1998, 25(2): 1~2.
- [4] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H A. Primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 608~611.
- [5] Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 635~640.
- [6] Zong Y G, Chen H C, Guo R H. The systematic analysis on value of regional ecosystem services. *Geographical Research*, 2000, 19(2): 148~155.
- [7] Heal G. Valuing Ecosystem Services. *Ecosystems*, 2000, 3(1): 24~30.
- [8] Michael Prior. Economic Valuation and Environmental Values. *Environmental Values*, 1998, 7(4): 423~441.
- [9] Lubchenco J. Entering the century of the environment: A new social contract for science. *Science*, 1998, 279: 279~491.
- [10] Xie G D, *et al.* Study on valuation of rangeland ecosystem services of China. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 49~51.
- [11] Tian G, Cai B F. Evaluation of the Ecosystem Services of Artificial Landscapes in Beijing. *Environmental Science*, 2004, 25(5): 5~9.
- [12] Li S C, Zheng D, Yang Q Y. Some Issues on Assessing Natural Capital of Environment and Ecosystems. *Environmental Science*, 2001, 22(6): 103~107.
- [13] Liu X P, Li T S, Ji W H. Research on application of international BOT in the construction of agricultural in Shaanxi province. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2003, 33(1)(120): 103~105.
- [14] Liu H M, Jiang J S. A Review of Evaluating Ecosystem Services and Accounting National Economy. *Journal of South China University of Tropical Agriculture*, 2003, 9(1): 19~25.
- [15] Chen Z X, Zhang X S. The values of Ecosystem benefits in China. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(1): 17~19.
- [16] Lei K P, WANG Z S. The value of the ecosystem services and method. *Journal of Geographical Sciences*, 2003, 13(3): 339~347.
- [17] Zhao J Z, Xiao H and W G. Comparison analysis on physical and value assessment methods for ecosystems services. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(2): 290~292.
- [18] Bai X F. The value of land Ecosystem Services in wasteland zone — A case study of YiJinLuo region in Inner Mongolia. Beijing: China Agriculture

University, 2003.32 ~ 36.

- [19] Ma Q M, Cao K Y and Yang R H. Discussion on a train of thought about industrial environmental protection evaluation. *Statistic Research*, 2004, 1: 14 ~ 22.
- [20] Xia L H, Song M. Study of City Ecosystem Services in Economically Developed Region. *Journal of Guangzhou University(Natural Science Edition)*, 2002, 1(3): 71 ~ 74.

#### 参考文献:

- [1] 李金昌. 生态价值论. 重庆: 重庆大学出版社, 1999.
- [4] 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): 608 ~ 611.
- [5] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635 ~ 640.
- [6] 宗跃光, 陈红春, 郭瑞华. 地域生态系统服务功能的价值结构分析. *地理研究*, 2000, 19(2): 148 ~ 155.
- [10] 谢高地等. 中国自然草地生态系统服务价值. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 49 ~ 51.
- [11] 田刚, 蔡博峰. 北京地区人工景观生态服务价值估算. *环境科学*, 2004, 25(5): 5 ~ 9.
- [12] 李双成, 郑度, 杨勤业. 环境与生态系统资本价值评估的若干问题. *环境科学*, 2001, 22(6): 103 ~ 107.
- [13] 任志远. 生态系统服务经济价值评估的前沿问题. *西北大学学报(自然科学版)*, 2003, 33(1)(120): 103 ~ 105.
- [14] 刘红梅, 蒋菊生. 生态服务价值评估与国民经济核算简述. *华南热带农业大学学报*, 2003. 9(1): 19 ~ 25.
- [15] 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 ~ 19.
- [17] 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, 11(2): 290 ~ 292.
- [18] 白晓飞. 荒漠化地区土地利用的生态服务价值——以内蒙古伊金洛旗为例. 北京: 中国农业大学, 2003. 32 ~ 36.
- [19] 马千脉, 曹克瑜, 杨芮华. 一种工业环保核算思路的探讨. *统计研究*, 2004. 1: 14 ~ 22.
- [20] 夏丽华, 宋梦. 经济发达地区城市生态服务功能的研究. *广州大学学报(自然科学版)*, 2002. 1(3): 71 ~ 74.