

DOI: 10.5846/stxb201408211657

喻锋, 李晓波, 王宏, 张丽君, 徐卫华, 符蓉. 基于能值分析和生态用地分类的中国生态系统生产总值核算研究. 生态学报, 2016, 36(6): - .  
Yu F, Li X B, Wang H, Zhang L J, Xu W H, Fu R. Study on accounting of Gross Ecosystem Product based on emergy analysis and ecological land classification in China. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(6): - .

# 基于能值分析和生态用地分类的中国生态系统生产总值核算研究

喻 锋<sup>1</sup>, 李晓波<sup>1,\*</sup>, 王 宏<sup>2</sup>, 张丽君<sup>1</sup>, 徐卫华<sup>3</sup>, 符 蓉<sup>1</sup>

1 国土资源部信息中心, 国土资源部国土资源战略研究重点实验室, 北京 100812

2 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 资源学院, 北京 100875

3 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

**摘要:** 生态系统生产总值是生态系统为人类提供的产品与服务价值的总和, 研究与建立一个独立的核算一个国家或地区的生态系统生产总值的方法与体系, 对科学评价与合理利用自然资源、助推生态文明建设等具有重要意义。本文将生态系统生产总值分为供给价值、文化价值、承载价值与调节价值等四大类, 基于能值分析方法和生态用地分类体系, 计算得出全国及各地区生态系统生产总值, 并将其与国内生产总值进行比较, 为自然资源资产负债核算和综合生态系统管理等研究提供理论和方法借鉴。研究结果表明: (1) 生态用地分类体系包括湿地、森林、草地和其他生态土地 4 个一级类型、19 个二级类型。其中, 湿地、森林、草地可统称为基础性生态用地。2008 年, 中国生态用地总量为 763.95 万 km<sup>2</sup>, 约占陆域国土面积的 80%, 其中基础性生态用地约为 530.8 万 km<sup>2</sup>。(2) 2008 年, 中国国土生态系统生产总值约为 19 万亿美元, 是当年国内生产总值 4.71 万亿美元的 4 倍, 人均生态系统总值约为 1.45 万美元/人。从生态系统生产总值来看, 广东、山东、河南位居前三, 西藏最低; 从人均生态系统生产总值来看, 西藏和内蒙古居前, 甘肃最低。

**关键词:** 能值; 生态用地; 生态系统; 生产总值

## Study on accounting of Gross Ecosystem Product based on emergy analysis and ecological land classification in China

YU Feng<sup>1</sup>, LI Xiaobo<sup>1,\*</sup>, WANG Hong<sup>2</sup>, ZHANG Lijun<sup>1</sup>, XU Weihua<sup>3</sup>, FU Rong<sup>1</sup>

1 Information Center of Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China

2 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

**Abstract:** Gross Ecosystem Product (GEP) can be defined as the value of products and services provided by ecosystems to human beings. It is significant in considering the value of final goods and services produced by the population of a country or region in a given period. In general, the natural environment, upon which human beings rely for their existence and development, should be viewed within the compound economy-society-nature system. Thus, the value of goods and services provided by ecosystems should be incorporated within economic accounting systems. Recently, there have been a number of attempts to refine social development evaluation using measures such as Gross National Happiness Index and Human

**基金项目:** 国土资源部国土资源战略研究重点实验室开放课题 (KFS201304); 国土资源部公益性行业科研专项 (20101101)

**收稿日期:** 2014-08-21; **网络出版日期:** 2015- -

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xbli@infomail.mlr.gov.cn

Development Index. In addition, many researchers have estimated the value of ecosystem services using approaches such as the market value method, shadow price assessment, alternative engineering method, and opportunity cost approach. However, their studies lack unified accounting indicators and accounting systems that are matched with the framework of national economic statistics. In this paper, an integrated method was proposed for estimating the value of GEP, taking into account ecosystem supplies, ecological cultural values, adjustable land values, and carrying capacities. A detailed energy analysis was introduced into the assessment of resource supplies, cultural values, and carrying capacities. A numerical model was adopted to estimate adjustable values based on the classification and size of ecological land, as well as the corresponding adjustable value of an individual type of ecological land. Moreover, the results of gross national and regional ecosystem production were compared with the Gross Domestic Product (GDP). The results indicate that this method could offer theoretical and technical insights in assessing natural resource assets and liabilities for business accounting and integrated ecosystem management purposes. It is also of great significance for the scientific evaluation and rational utilization of natural resources and in promoting the creation of an ecologically sustainable civilization. Based on the main functions of ecosystem services, ecological land can be classified into 4 types, namely wetland, forest, grassland, and other ecological land, as well as 19 sub-types. Among these types, wetland, forest, and grassland should be regarded as fundamental ecological land. The results indicated that in 2008, the area of ecological land in China was 7.6395 million km<sup>2</sup>, accounting for about 80 percent of the entire land area, and the extent of other ecological land was approximately 5.308 million km<sup>2</sup>. Meanwhile, the total value of land ecological supplies, ecological cultural values, and ecological carrying capacity in 2008 was 18.16 trillion dollars in China. The above ecosystem services accounted for 18.8, 8.4, and 72.8 percent respectively of the total value. The value of land ecology adjusting measured by basic ecological land was 835.12 billion dollars. The total value of Gross Ecosystem Product in China was about 19 trillion dollars in 2008. Compared with the GDP for that year, namely, 4.71 trillion dollars, GEP was four times as much as GDP. GEP per capita was about 14,500 dollars. The values of GEP in different provinces of China were found to vary. The values of GEP in Guangdong, Shandong, and Henan provinces were bigger than those in other provinces, while the value of GEP in Tibet was the lowest. However, the values of per capita GEP in Tibet and Inner Mongolia were the top two among all of the provinces. In contrast, the per capita value in Gansu province was the lowest.

**Key Words:** energy; ecological land; ecosystem; gross product

生态系统产品与服务功能是人类生存与发展的基础,生态系统生产总值(GEP, Gross Ecosystem Product)是生态系统为人类提供的产品与服务价值的总和<sup>[1]</sup>。与当前应用最为普遍的经济核算指标国内生产总值(GDP, Gross Domestic Product)不同,GEP不仅要衡量一个国家或地区在一定时期内人类活动所生产和提供的最终产品和服务的价值,还要将人类社会与其赖以发展的生态环境当作经济—社会—自然复合生态系统来看待<sup>[2-3]</sup>,统筹核算生态系统本身为人类生存和发展提供的产品和服务的总价值。虽然在评价社会发展水平方面,国民幸福指数(GNH, National Happiness Index)<sup>[4]</sup>、人类发展指数(HDI, Human Development Index)<sup>[5]</sup>等取得一定进展,在估算生态系统服务价值方面,价值量评估法(包括市场价值法、影子价格法、替代工程法、机会成本法、条件价值法等)也已应用广泛并取得明显进展<sup>[6-12]</sup>,但为人们所普遍接受的核算指标以及与国民经济统计相匹配的核算制度仍很缺乏。研究与建立一个独立的核算、一个国家或地区的生态系统为人类提供的产品与服务的方法与体系,是当前各方广泛关注的议题<sup>[1, 13-18]</sup>。

能值分析理论和方法是在 20 世纪 80 年代由美国著名生态学家 Odum<sup>[19]</sup>创立提出的,以能值为共同基准,将生态经济系统内流动和储存的各种不同类别的能量和物质转换为同一标准的能值,进行定量分析研究。由于能值分析解决了传统分析方法遇到的不同类型、不同性质能量不可加减和比较的问题,能够衡量自然环境资源与经济活动的真实价值并分析相互间的关系,对协调生态环境保护与经济社会发展具有重要意义。随

着全球资源环境问题日益凸显,能值理论和方法逐渐在国家、流域、州(省)、城市、具体生态系统等不同尺度上得到广泛应用,涉及自然、经济、社会等不同层面,用于分析和评价环境资源、经济投入、发展模式及环境政策等多方面,成为生态经济领域的重要理论和研究方法之一,并进一步拓展应用到其他领域<sup>[20-26]</sup>。在国内,能值分析作为估算生态系统服务价值的一种新方法,近10年来在海域<sup>[27-29]</sup>、湿地<sup>[30-31]</sup>、绿洲<sup>[32]</sup>、山地<sup>[33-34]</sup>等生态系统评估中发挥了重要作用。

生态用地是指生产性用地和承载性用地以外,以提供生态产品、环境调节和生物保育等生态服务功能为主要用途,对维持区域生态平衡和可持续发展具有重要作用的土地利用类型<sup>[35]</sup>。生态用地具有涵养水源、保护土壤、防风固沙、调节气候、净化环境、保护生物多样性等生态功能,是衡量一个地区国土生态环境质量好坏的“晴雨表”<sup>[35]</sup>。在区域尺度上,目前主要有三种观点:“生态要素决定论”<sup>[36]</sup>、“生态功能决定论”<sup>[37-38]</sup>和“主体功能决定论”<sup>[39-42]</sup>。在实践中,生态用地还被引入到西北干旱区、北方农牧交错带、典型岩溶地区、陕北沙区、城市(开发区)等特定区域的相关研究中<sup>[43-53]</sup>,应用领域和范围不断扩大。

本文将生态系统生产总值分为供给价值、文化价值、承载价值与调节价值等四大类。针对供给、文化和承载价值,采用能值分析方法进行计算;针对调节价值,基于生态用地分类、规模以及各单一类型生态用地不同调节价值,采用乘算模型进行综合计算;最终加和得到全国及各地区生态系统生产总值,并将其与国内生产总值进行比较,为自然资源资产负债核算和综合生态系统管理等研究提供理论和方法基础,对科学评价与合理利用自然资源、助推生态文明建设等具有重要意义。

## 1 数据

本研究数据主要包括两大类:一是2008年分省的土地利用数据,来自国土资源部2008年全国土地利用变更调查数据;二是2008年分省的经济社会统计数据,涵盖近30余项单要素指标,来自国家统计局《中国统计年鉴2009》。

## 2 研究方法

### 2.1 生态系统生产总值核算

生态系统生产总值的主要组成包括生态系统供给价值、生态系统调节价值、生态系统文化价值与生态系统承载价值等四大类,通过计算森林、草地、湿地等自然生态系统以及农田等人工生态系统的生产总值,来衡量和展示生态系统状况。具体计算公式在前人研究<sup>[1]</sup>的基础上可进一步表示如下:

$$GEP = EPV + ECV + ELV + ERV$$

式中,EPV(Ecosystem Supply Value)为供给价值,ECV(Ecosystem Culture Value)为文化价值,ELV(Ecosystem Load Value)为承载价值,ERV(Ecosystem Regulation Value)为调节价值。由于各分项价值结果均采用统一的货币量纲表示,且已将不同时期货币汇率的变化考虑进去,因此在计算生态系统生产总值时,可采用分项价值直接相加的办法得到最终的总价值。

### 2.2 生态供给-文化-承载价值能值估算

#### 2.2.1 能值计算

能值分析的基本原理,就是将各种形式的能量换算成同一量纲的太阳能值,能量和能值相互转化的桥梁是太阳能值转换率。计算公式如下<sup>[54]</sup>:

$$E_M = S_c \times E$$

式中, $E_M$ 为能量所具有的能值(Sej(太阳能焦耳)); $S_c$ 为太阳能值转换率(Sej/J); $E$ 为物质或产品所含能量(包括太阳光能量、雨水化学能量等)(J(焦耳))。

考虑到自然生态经济复合系统所排放的废水、废气和固体废物,以及所损耗的土壤流失能和净表土损失能,相对于产品或能量而言是一种“负产品”或“负能量”,因此在计算生态供给价值和生态承载价值时,将上

述废物流或能量流的价值减去。其中,特殊物质的能量计算公式如下<sup>[54]</sup>:

$$\text{土壤流失能} = (\text{土壤流失速率} - \text{土壤生产速率}) \times \text{土地面积}$$

$$= \text{土地面积} \times 2.29 \times 10^4$$

$$\text{土壤流失能} = (\text{土壤流失速率} - \text{土壤生产速率}) \times \text{土地面积}$$

$$= \text{土地面积} \times 2.29 \times 10^4$$

$$\text{净表土损失能} = \text{耕地面积} \times \text{土壤侵蚀率} \times \text{有机质含量} \times \text{有机质能量}$$

$$= \text{耕地面积} \times 3.18 \times 10^6$$

$$\text{雨水化学能} = \text{土地面积} \times \text{年降水量} \times \text{水分蒸发率} \times \text{水密度} \times \text{吉布斯自由能}$$

$$= \text{土地面积} \times \text{年降水量} \times 2.82 \times 10^6$$

$$\text{地球旋转能} = \text{土地面积} \times \text{单位面积热通量} = \text{土地面积} \times 1.45 \times 10^6$$

$$\text{潮汐能} = \text{海岸线长度} \times (l/8) \times \text{重力加速度} \times \text{平均海浪高度}^2 \times \text{海水密度} \times \text{海浪速度}$$

$$= \text{海岸线长度} \times \text{平均海浪高度}^2 \times 4.75 \times 10^{10}$$

在此基础上,结合前人研究结果<sup>[55-56]</sup>,采用 Odum 于 2000 年确定的新的全球能值基准 ( $15.83 \times 10^{24}$  Sej/年)<sup>[57]</sup>,对以往研究中各产品能值转换率进行基准变换,最终得到新的全球能值基准下生态系统供给-文化-承载的能量折算与能值转换标准(表 1)。

表 1 生态供给-文化-承载的能量折算与能值转换标准

Table 1 Energy conversion and transformation standard of ecological supply-culture-carrying

价值类型 Value type	品名 Name	能量折算标准 Energy conversion standard J/T	能值转换率 Energy transforming rate Sej/J	品名 Name	能量折算标准 Energy conversion standard J/T	能值转换率 Energy transforming rate Sej/J	
生态供给 Ecological supply	物质流+ Matter flow	稻谷	$1.55 E+10$	肉类	$1.50 \times 10^{10}$	$3.94 \times 10^6$	
		小麦	$1.57 \times 10^{10}$	奶类	$3.20 \times 10^9$	$2.85 \times 10^6$	
		玉米	$1.65 \times 10^{10}$	蛋类	$8.30 \times 10^9$	$3.35 \times 10^6$	
		豆类	$2.07 \times 10^{10}$	毛类	$5.00 \times 10^9$	$6.44 \times 10^6$	
		薯类	$4.20 \times 10^9$	水产	$5.40 \times 10^9$	$3.35 \times 10^6$	
		油料	$2.64 \times 10^{10}$	原煤	$2.09 \times 10^{10}$	$6.67 \times 10^4$	
		棉花	$4.34 \times 10^9$	原油	$4.40 \times 10^{10}$	$8.90 \times 10^4$	
		麻类	$2.93 \times 10^9$	天然气	$3.89 \times 10^{10}$	$8.06 \times 10^4$	
		甘蔗	$2.31 \times 10^9$	原盐	$2.71 \times 10^{15}$		
		甜菜	$2.79 \times 10^9$	发电量	$3.60 \times 10^9$	$2.67 \times 10^5$	
		烟叶	$1.88 \times 10^9$	水泥	$3.33 \times 10^{15}$		
		茶叶	$1.88 \times 10^{10}$	生铁	$1.68 \times 10^{15}$		
		水果	$3.35 \times 10^9$	钢材	$3.33 \times 10^{15}$		
		木材	$1.20 \times 10^{10}$	化肥	$8.01 \times 10^{15}$		
		生态文化 Ecological culture	物质流+ Matter flow	入境旅游人口	$1.64 \times 10^{10}$	固体废弃物	$6.33 \times 10^8$
货币流+ Currency flow	旅游总收入			1.00			
生态承载 Ecological load	物质流+ Matter flow	总人口	$1.64 \times 10^{10}$				
		能量流+ Energy flow	雨水化学能	$2.82 \times 10^6$	地球旋转能	$1.45 \times 10^6$	$5.76 \times 10^4$
		能量流- Energy flow	潮汐能	$4.75 \times 10^{10}$			
		能量流- Energy flow	土壤流失能	$9.94 \times 10^7$	净表土损失能	$1.27 \times 10^4$	$1.69 \times 10^7$

水泥、生铁、钢材、化肥与原盐的能值转换率单位为  $Sej/T$ ; 人口的能量折算标准单位为  $J/人$ ; 天然气的能量折算标准和能值转换率单位分别为  $J/m^3$  和  $Sej/m^3$ , 发电量的能量折算标准和能值转换率单位分别为  $J/Kwh$  和  $Sej/Kwh$ ; 地球旋转能、净表土损失能的能量折算标准单位为  $J/m^2$ , 雨水化学能与潮汐能的能量折算标准单位为  $J/m^3$ , 土壤流失能的能量折算标准单位为  $J/m^4$ 。

### 2.2.2 能值—货币价值计算

在获取太阳能值的基础上,能值—货币价值可由能值/货币比率具体衡量。能值/货币比率是评价一个国家或地区经济发达程度的指标,可以衡量一个国家或地区的财富,表示单位货币能购买的财富数量。能值/货币比率(EDR, Energy Dollar Ratio)等于生态经济复合系统的年能值总利用量与当年国内生产总值 GDP 的比值。其中,能值总利用量为外部输入的可更新自然资源流、本地可更新资源和产品、农业系统生产散失的资源和商品、经济系统集约使用的富集资源和产品、未经本地使用的直接出口不可更新资源和产品(以出口额代替)的能值流之和。最后计算能值—货币价值,其计算公式为<sup>[54]</sup>:

$$V_E = E_M / EDR$$

式中,  $V_E$  为每项的能值—货币价值,  $E_M$  为每项的太阳能值,  $EDR$  为能值/货币比率。

由于能值核算已经将各种不同的产品统一转换为太阳能焦耳的量纲,能值/货币比率也按照当年汇率和美元计算。因此,产品的能值—货币价值能够进行其他国家或地区间的比较,无疑能为生态文明主要指标体系在国际上的对接提供有效途径。在我国不同地区能值货币比率研究成果(表2)的基础上,综合考虑空间尺度和时间范围的相近性,以不同省区的平均水平为依据,最终确定本研究中采用的2008年中国能值货币比率为  $5.15 \times 10^{16}$   $Sej/$ 万美元。

表2 中国不同地区能值货币比率

Table 2 Ratio of energy to monetary in China

地区 Region	湖南 <sup>[58]</sup> /2008 Hunan Province	徐州 <sup>[56]</sup> /2011 Xuzhou City	黑龙江 <sup>[25]</sup> /2008 Heilongjiang Province	梅州 <sup>[59]</sup> /2008 Meizhou City	密云 <sup>[60]</sup> /2003 Miyun County
总能量投入量(Sej) Total energy input amount	$1.94 \times 10^{23}$	$2.51 \times 10^{23}$	$3.78 \times 10^{23}$	$5.73 \times 10^{22}$	$2.49 \times 10^{21}$
GDP( $10^4$ USD)	$2.72 \times 10^6$	$5.49 \times 10^6$	$1.19 \times 10^7$	$7.60 \times 10^5$	$8.34 \times 10^4$
当年能值货币比率( $Sej/10^4$ USD) Ratio of energy to monetary	$7.13 \times 10^{16}$	$4.57 \times 10^{16}$	$3.18 \times 10^{16}$	$7.54 \times 10^{16}$	$2.98 \times 10^{16}$

人民币对美元平均汇率2003年为8.23,2008年为6.95,2011年为6.46。

### 2.3 基于生态用地的生态调节价值估算

生态调节是生态系统服务功能的重要组成部分,对生态调节功能的认识与评价是区域生态环境保护与资源开发的基础,并已成为当前区域生态评价与生态规划的前沿课题。生态调节功能包括气候调节、固碳、营养物质贮存、水源涵养、环境净化、生物多样性、防洪减灾、土壤保持等,不同生态用地类型的生态调节功能类型和价值量不一样。本文在构建生态用地统一分类体系(表3)基础上,将其与《全国土地分类(过渡期间适用)》进行对照转换(表4),并基于2008年土地利用变更调查数据,得出全国及各地区生态用地类型规模(表5),再根据湿地、草地和森林单位面积生态调节服务价值(表6、表7、表8),计算各地区生态调节服务价值总值。其中,考虑到森林、草地、湿地(包括水域)等土地类型,在改善环境、维持生物多样性和区域生态平衡方面具有不可替代的重要作用,具有巨大的生态系统服务价值,可称之为基础性生态用地。

## 3 结果分析

### 3.1 生态供给-文化-承载价值

2008年,中国国土生态供给价值、生态文化价值和生态承载价值之和为18.16万亿美元,三者所占比例分别为18.8%、8.4%和72.8%(表9)。分地区来看,山东的生态供给价值(0.34万亿美元)在全国各地区中居首,表明其国土生态产品供应水平最高;广东的生态文化价值(0.15万亿美元)、生态承载价值(0.96万亿美元)以

至上述三种价值之和(1.55万亿美元)均在全国排名第一,反映出我国国土人口生态承载能力最强;宁夏的生态文化价值则最小,而西藏的生态供给价值、生态承载价值以至上述三种价值之和(359.5亿美元)均在全国居末位,西藏和广东在总价值上相差1.52万亿美元,是西藏总价值的42.2倍。

表3 生态用地统一分类体系<sup>[35]</sup>

Table 3 Unified classification system of ecological land

一级类 First class		二级类 Second class		含义 Illustration
编码 Code	名称 Name	编码 Code	名称 Name	
01	湿地 Wetland			指天然或人工,常年或季节性,蓄有静止或流动的淡水、半咸水或咸水的沼泽地、泥炭地或水域。
		011	沼泽湿地 Marsh wetland	地表过湿或有薄层常年或季节性积水,土壤水分几达饱和,生长有喜湿性和喜水性沼生植物的地段,主要包括藓类沼泽、草本沼泽、灌丛沼泽、森林沼泽、绿洲湿地等。
		012	湖泊湿地 Lake wetland	陆地表面洼地积水形成的比较宽广的水域,包括永久性淡(咸)水湖、季节性淡(咸)水湖。
		013	河流湿地 Riverine wetland	一定区域内由地表水和地下水补给,经常或间歇地沿着狭长凹地流动的水流,包括永久性河流、季节性或间歇性河流、泛洪平原湿地。
		014	滨海湿地 Coastal wetland	海平面以下6米至大潮高潮位之上与外流江河流域相连的微咸水和淡浅水湖泊、沼泽以及相应河段间的区域,主要包括滩涂湿地、河口水域、三角洲湿地等。
		015	人工湿地 Artificial wetland	人工建造和控制运行的与天然湿地类似的地面,主要包括水产池塘、水塘、蓄水区、灌溉地、运河与排水渠等。
02	森林(地) Forest			指建群种为乔木、竹类、灌木的连片林,乔木或竹类郁闭度不低于20%,灌木覆盖度不低于40%,主要生产木材和木材制品,物种多样性相对较高,生态系统较为复杂。
		021	落叶林(地) Deciduous forest	落叶林占2/3以上,其它林不超过1/3,树木郁闭度 $\geq 20\%$ 、高度不低于5米的天然林地。
		022	常绿林(地) Evergreen forest	常绿林占2/3以上,其它林不超过1/3,树木郁闭度 $\geq 20\%$ 、高度不低于5米的天然林地。
		023	混交林(地) Mixed forest	常绿林和落叶林均在1/3和2/3之间,无明显优势群,树木郁闭度 $\geq 20\%$ 、高度不低于5米的天然林地。
		024	灌木林(地) Shrubbery	灌木覆盖度 $\geq 40\%$ 、高度一般在5米以下的天然林地。
		025	人工生态林(地) Artificial ecological forest	人工栽培的,用于生态保护、绿化、休闲等目的林地。
03	草地 Grassland			指由草本群落组成,以早生、多年生丛生禾草、杂类草为主,覆盖度在5%以上的土地。
		031	高盖度草地 High coverage grassland	覆盖度 $> 50\%$ 的自然/半自然草地。
		032	中盖度草地 Medium coverage grassland	覆盖度在20%—50%的自然/半自然草地。
		033	低盖度草地 Low coverage grassland	覆盖度在5%—20%的自然/半自然草地。
		034	人工生态草地 Artificial ecological grassland	人工栽培的,用于生态保护、绿化、休闲等目的草地。
04	其他生态土地 Other ecological land			指除湿地、森林(地)、草地以外的其他生态用地。
		041	盐碱地 Saline land	表层盐碱聚集,只生长天然耐盐植物的土地。
		042	沙地 Sand land	表层为沙覆盖,基本无植被的土地,包括沙漠,不包括水系中的沙滩。
		042	裸岩及裸土地 Bare rock and bare land	表层为土质,基本无植被覆盖的土地,以及表层为岩石或石砾、覆盖面积 $\geq 70\%$ 的土地。
		044	高寒荒漠及苔原 High-cold desert and tundra	大陆性高山和高原上的荒漠及冻土地区。
		045	冰川及永久积雪 Glacier and firm	表层被冰雪常年覆盖的土地。

表 4 生态用地统一分类与《全国土地分类(过渡期间适用)》对照表<sup>[35]</sup>

Table 4 Comparison between Unified classification system of ecological land and National Land Classification

生态用地 Ecological land	《全国土地分类(过渡期间适用)》 National Land Classification (applicable during the transition)			
	一级类 First class		二级类 Second class	
	编码 Code	名称 Name	编码 Code	名称 Name
湿地 Wetland	11	耕地	111	灌溉水田
	15	其他农用地	154	坑塘水面
			155	养殖水面
			156	农田水利用地
	20	居民点及独立工矿用地	205	盐田
	27	水利设施用地	271	水库水面
	31	未利用土地	313	沼泽地
	32	其他土地	321	河流水面
			322	湖泊水面
			323	苇地
			324	滩涂
森林(地) Forest	13	林地	131	有林地
			132	灌木林地
			136	苗圃
草地 Grassland	14	草地	141	天然草地
			143	人工草地
其他生态土地 Other ecological land	31	未利用土地	311	荒草地
			312	盐碱地
			314	沙地
			315	裸土地
			316	裸岩石砾地
			317	其他未利用土地
	32	其他土地	325	冰川及永久积雪

表 5 2008 年中国及各地区生态用地规模<sup>[35]</sup> (10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>)

Table 5 Ecological land quantity of 2008 in China

生态用地 Ecological land	湿地 Wetland	森林(地) Forest	草地 Grassland	其他生态土地 Other ecological land	合计 Total	其中基础性生态用地 Fundamental ecological land
全国 China	678.5	2034.2	2595.3	2331.2	7639.5	5308
北京	0.9	5.7	0	1.7	8.3	6.5
天津	3.9	0.2	0	0.3	4.5	4.1
河北	11.7	32.9	7.7	34.1	86.5	52.3
山西	3.8	31.5	6.5	43.9	85.6	41.8
内蒙古	32.2	190.6	639.6	149.8	1012.2	862.4
辽宁	19.1	50	3.5	13.5	86.1	72.6
吉林	17.9	84.3	10.2	9.7	122	112.4
黑龙江	55.9	214.5	21.9	22.7	315.1	292.4
上海	4.5	0.3	0	0	4.7	4.7
江苏	58.5	2.9	0	1.8	63.3	61.5
浙江	21.2	52.4	0	2.7	76.4	73.6

续表

生态用地 Ecological land	湿地 Wetland	森林(地) Forest	草地 Grassland	其他生态土地 Other ecological land	合计 Total	其中基础性 生态用地 Fundamental ecological land
安徽	44.1	30.3	0.3	3.1	77.9	74.7
福建	14.4	67.9	0	6.4	88.7	82.3
江西	31	84.3	0.1	8.1	123.4	115.3
山东	18.1	11.1	0.3	9.1	38.6	29.5
河南	18	25.3	0.1	15.1	58.5	43.4
湖北	45.7	68.9	0.4	14.9	129.9	115
湖南	40.8	103.3	1	10.5	155.7	145.1
广东	33.5	76	0.3	6.9	116.7	109.7
广西	28.9	95.1	7.1	44.8	175.9	131.1
海南	6.3	13	0.2	2.3	21.7	19.5
重庆	10.1	28.1	2.3	5.3	45.9	40.6
四川	30.9	178.5	136.4	37	382.7	345.7
贵州	10.5	64.5	15.9	16.5	107.4	90.9
云南	19.5	198.2	7.8	53.1	278.7	225.5
西藏	31.7	116.2	644	394.1	1186	791.9
陕西	5.8	90.3	30.5	9.9	136.6	126.7
甘肃	4.3	41.3	125.1	152.6	323.2	170.7
青海	28.7	21.7	401.8	249.2	701.5	452.3
宁夏	2	2.3	22.6	7.3	34.1	26.9
新疆	24.6	52.6	509.7	1004.8	1591.7	586.9

表 6 中国不同区域湿地单位面积生态调节服务价值

Table 6 Ecological adjusting value per unit area of wetlands in China

地区 Region	盘锦湿地 <sup>[61]</sup> /1997 Panjin wetland	太湖湿地 <sup>[62]</sup> /2007 Taihu wetland	黄河三角洲湿地 <sup>[63]</sup> /2004 Yellow River delta wetland	平均/2008 Average
气候调节 Climate regulation	764.0	1152.2	417.6	889.6
水源涵养 Water conservation		109.6		40.0
环境净化 Environmental purification	41.4	150.1	969.3	456.1
生物多样性保护 Biodiversity protection	84.2	25.9		42.9
防洪减灾 Flood control and disaster reduction	1083.7	1657.7	35.5	1049.2
土壤保持 Soil conservation			163.4	194.7
合计 Total				2672.5

单位为 USD/( $hm^2 a$ )。基于研究成果的数据可得性、价值分类的相似性以及空间分布的分散性等考虑,选择上述三片湿地作为典型地区。其中,太湖湿地 23.38 万  $hm^2$ ,2007 年美元平均汇率 7.6。黄河三角洲湿地 15.3 万  $hm^2$ ,2004 年美元平均汇率 8.28。盘锦湿地 31.5 万  $hm^2$ ,1997 年美元平均汇率 8.29。各项生态调节服务价值均统一到 2008 年标准。

### 3.2 生态调节价值

2008 年,以基础性生态用地来衡量,中国国土生态调节价值为 8351.2 亿美元(表 10)。其中,四川和云南居前两位,均超过 800 亿美元;黑龙江和湖南居三、四位,都高于 500 亿美元;天津、宁夏、上海和北京均不足 20 亿美元。

表 7 中国不同区域草地单位面积生态调节服务价值<sup>[64]</sup>

Table 7 Ecological adjusting value per unit area of grassland in China

地区 Region	东北温带半湿润区 Northeast temperate semi-humid area	蒙宁甘温带半干旱区 Mongninggan temperate semi-arid area	西北温带、暖温带干旱区 Northwest temperate and warm temperate arid area	华北暖温带半湿润、半干旱区 North warm temperate semi-humid and semi-arid area	东南热带、亚热带湿润区 Southeast tropical and subtropical humid area	西南亚热带湿润区 Southwest subtropical humid area	青藏高原高寒区 High-cold region of Tibet Plateau
	黑龙江、吉林、辽宁	内蒙古、宁夏、甘肃、陕西	新疆	北京、天津、河北、山东、山西、河南	广东、海南、福建、湖北、湖南、江西、安徽、浙江、江苏、上海	云南、贵州、重庆、四川、广西	青海、西藏
气体管理 Air management	18.6	3.3	4.5	10.7	14.8	14.5	4.5
干扰管理 Disturbance management	369.8	11.7	24.7	26.5	3.5	28.3	24.6
水管理 Water management	4.5	1.3	1.7	4.4	6.3	5.9	1.7
水供应 Water supply	309.6	9.8	20.6	22.2	3	23.7	20.6
侵蚀控制 Erosion control	32	12.4	15.8	41.3	60.8	56.5	15.8
土壤形成 Soil formation	1.1	0.4	0.5	1.4	2.1	1.9	0.5
废物处理 Waste treatment	436.5	47.9	70	148.3	185.5	195.5	69.9
授粉 Pollination	27.6	10.7	13.6	35.6	52.4	48.7	13.6
生物控制 Biological control	25.4	9.8	12.5	32.7	48.2	44.8	12.5
栖息地 Habitat	24.8	0.8	1.7	1.8	0.2	1.9	1.6
合计 Total	1249.9	108.1	165.6	324.9	376.8	421.7	165.3

单位为 USD/(hm<sup>2</sup> a)。表 8 中国不同区域森林单位面积生态调节服务价值<sup>[65]</sup>

Table 8 Ecological adjusting value per unit area of forest in China

地区 Region	寒温带 Cool temperate zone	中温带 Mid temperate zone	暖温带 Warm temperate zone	亚热带 Subtropical zone	热带 Tropical zone	青藏高原 Tibet Plateau
	黑龙江、内蒙古	辽宁、吉林、新疆、甘肃、宁夏	陕西、河南、山东、山西、北京、天津、河北	四川、重庆、贵州、湖北、湖南、江西、江苏、浙江、上海、安徽、福建、广东、广西、云南	海南	青海、西藏
涵养水源 Water conservation	352.9	656.5	852.6	1675.4	3170.6	559.9
固碳 Carbon fixation	448.4	650.7	724.0	1211.1	1475.1	463.5
营养物贮存 Nutrient storage	44.8	81.1	91.5	119.2	164.7	56.0
净化空气 Air purification	442.4	390.7	353.5	569.6	497.6	604.0
保护土壤 Soil protection	445.4	562.7	114.7	304.7	427.7	61.5
生物多样性保护 Biodiversity protection	2.1	5.7	23.8	8.3	5.1	0.9
合计 Total	1736.0	2347.4	2160.2	3888.2	5740.9	1745.8

单位为 USD/(hm<sup>2</sup> a)。2003 年美元平均汇率 8.28。各项生态调节服务价值均统一到 2008 年标准。

表9 2008年中国国土生态供给-文化-承载价值(10<sup>8</sup>美元)

Table 9 Ecosystem supply-culture-load value of China in 2008

地区 Region	生态供给 价值 Ecosystem Supply Value-EPV	生态文化 价值 Ecosystem Culture Value-ECV	生态承载 价值 Ecosystem Load Value-ELV	合计 Total	地区 Region	生态供给 价值 Ecosystem Supply Value-EPV	生态文化 价值 Ecosystem Culture Value-ECV	生态承载 价值 Ecosystem Load Value-ELV	合计 Total
全国 China	34138.1	15341.3	132131.9	181611.3	河南	2751.0	178.6	9521.1	12450.7
北京	147.2	1255.3	1711.5	3114.0	湖北	1400.1	206.5	5767.7	7374.3
天津	469.2	319.2	1187.5	1975.9	湖南	1368.3	232.9	6443.6	8044.8
河北	2357.3	129.4	7057.4	9544.1	广东	1518.9	4388.3	9638.9	15546.1
山西	1771.3	153.7	3444.0	5369.0	广西	905.4	320.7	4864.9	6091.0
内蒙古	1865.6	269.4	2440.7	4575.7	海南	194.7	132.8	862.8	1190.3
辽宁	1175.8	542.9	4357.2	6075.9	重庆	589.0	176.0	2867.0	3632.0
吉林	690.4	103.7	2761.3	3555.4	四川	1626.0	100.7	8219.7	9946.4
黑龙江	1309.1	372.8	3863.6	5545.5	贵州	578.9	62.8	3830.9	4472.6
上海	190.4	1504.4	1906.8	3601.6	云南	824.0	449.8	4589.2	5863.0
江苏	2121.4	1308.9	7752.4	11182.7	西藏	53.2	13.0	293.3	359.5
浙江	1090.1	1136.7	5170.4	7397.2	陕西	1228.4	256.1	3799.1	5283.6
安徽	1464.7	222.3	6195.3	7882.3	甘肃	345.5	11.5	2654.3	3011.3
福建	725.3	764.4	3640.0	5129.7	青海	154.0	5.0	561.2	720.2
江西	772.4	130.2	4444.0	5346.6	宁夏	223.3	1.8	623.7	848.8
山东	3415.3	528.3	9509.3	13452.9	新疆	811.9	63.2	2153.1	3028.2

表10 2008年中国国土基础性生态用地生态调节价值(10<sup>8</sup>美元)

Table 10 Ecosystem regulation value of fundamental ecological land of China in 2008

地区 Region	生态调节价值			合计 Total	地区 Region	生态调节价值			合计 Total
	Ecosystem Regulation Value-ERV					Ecosystem Regulation Value-ERV			
	湿地 Wetland	森林(地) Forest	草地 Grassland			湿地 Wetland	森林(地) Forest	草地 Grassland	
全国 China	1813.3	6070.6	467.3	8351.2	河南	48.1	54.7	0.0	102.8
北京	2.4	12.3	0.0	14.7	湖北	122.1	267.9	0.2	390.2
天津	10.4	0.4	0.0	10.9	湖南	109.0	401.7	0.4	511.1
河北	31.3	71.1	2.5	104.8	广东	89.5	295.5	0.1	385.1
山西	10.2	68.0	2.1	80.3	广西	77.2	369.8	3.0	450.0
内蒙古	86.1	330.9	69.1	486.1	海南	16.8	74.6	0.1	91.5
辽宁	51.0	117.4	4.4	172.8	重庆	27.0	109.3	1.0	137.2
吉林	47.8	197.9	12.7	258.5	四川	82.6	694.0	57.5	834.1
黑龙江	149.4	372.4	27.4	549.1	贵州	28.1	250.8	6.7	285.6
上海	12.0	1.2	0.0	13.2	云南	52.1	770.6	3.3	826.0
江苏	156.3	11.3	0.0	167.6	西藏	84.7	202.9	106.5	394.0
浙江	56.7	203.7	0.0	260.4	陕西	15.5	195.1	3.3	213.9
安徽	117.9	117.8	0.1	235.8	甘肃	11.5	96.9	13.5	122.0
福建	38.5	264.0	0.0	302.5	青海	76.7	37.9	66.4	181.0
江西	82.8	327.8	0.0	410.7	宁夏	5.3	5.4	2.4	13.2
山东	48.4	24.0	0.1	72.4	新疆	65.7	123.5	84.4	273.6

由于在全国尺度上估算其他生态土地(包括未利用土地和其他土地)的生态调节价值仍需进一步的典型区域研究成果和数据支撑,故本文暂以基础性生态用地为对象来考量国土生态调节价值。

### 3.3 生态系统生产总值

2008,中国国土生态系统生产总值约为 19 万亿美元,是当年国内生产总值 4.71 万亿美元的 4 倍,人均生态系统总值约为 1.45 万美元/人(表 11)。从地区分布来看,广东、山东、河南位居前三,江苏和四川紧随其后,上述 5 省 GEP 均超过 1 万亿美元,5 者之和为 6.41 万亿美元,占到全国的 33.8%。从人均 GEP 来看,西藏和内蒙古居前,均超过 2.5 万美元/人;甘肃最低,不到 1.2 万美元/人,不及西藏的二分之一。从 GEP 和 GDP 两者之间的关系来看,以 GEP/GDP 衡量,西藏、贵州、云南、甘肃、青海等省的倍数均超过 6.5,而上海、北京、天津、浙江、江苏等省不足 3,表明东部沿海地区经济产出的规模效益更为显著,而西部地区生态效益的内生潜力更为巨大。因此,在开展区域综合生态系统管理实践时,应兼顾区域发展在“生产—生活—生态”三大空间上的平衡性和协调性,统筹区域生态系统功能的差异性和互补性,最终实现区域“经济—社会—生态”三大效益的最大化。

表 11 2008 年中国国土生态系统生产总值

Table 11 Gross ecosystem product of China in 2008

地区 Region	GEP 10 <sup>8</sup> 美元	GDP 10 <sup>8</sup> 美元	GEP /GDP	人均 GEP 美元	地区 Region	GEP 10 <sup>8</sup> 美元	GDP 10 <sup>8</sup> 美元	GEP /GDP	人均 GEP 美元
全国 China	189962.5	47082.0	4.0	14520.1	河南	12553.5	2648.6	4.7	13313.7
北京	3128.7	1509.1	2.1	18458.4	湖北	7764.5	1630.3	4.8	13595.7
天津	1986.8	914.3	2.2	16894.6	湖南	8555.9	1605.3	5.3	13410.5
河北	9648.9	2329.3	4.1	13806.2	广东	15931.2	5136.2	3.1	16692.4
山西	5449.3	998.4	5.5	15977.5	广西	6541	1031.9	6.3	13581.8
内蒙古	5061.8	1116.8	4.5	20970.9	海南	1281.8	210.0	6.1	15009.4
辽宁	6248.7	1936.9	3.2	14482.4	重庆	3769.2	733.3	5.1	13276.5
吉林	3813.9	924.3	4.1	13949.9	四川	10780.5	1799.5	6.0	13247.1
黑龙江	6094.6	1195.7	5.1	15932.0	贵州	4758.2	479.6	9.9	12545.6
上海	3614.8	1971.0	1.8	19141.5	云南	6689	820.2	8.2	14723.8
江苏	11350.3	4361.5	2.6	14784.2	西藏	753.5	57.0	13.2	26254.4
浙江	7657.6	3091.6	2.5	14956.3	陕西	5497.5	985.8	5.6	14613.2
安徽	8118.1	1276.9	6.4	13232.4	甘肃	3133.3	457.0	6.9	11922.2
福建	5432.2	1557.3	3.5	15072.7	青海	901.2	138.3	6.5	16258.3
江西	5757.3	932.4	6.2	13084.8	宁夏	862	158.1	5.5	13955.2
山东	13525.3	4470.8	3.0	14362.3	新疆	3301.8	604.8	5.5	15495.6

## 4 结论与讨论

(1) 本文将生态系统生产总值分为供给价值、文化价值、承载价值与调节价值等四大类,基于能值分析方法和生态用地分类体系,估算全国及各地区生态系统生产总值,并将其与国内生产总值进行比较,可以为自然资源资产负债核算和综合生态系统管理等研究提供理论和方法借鉴。

(2) 2008 年,中国生态用地总量为 763.95 万  $km^2$ ,约占陆域国土面积的 80%,其中湿地、森林和草地等基础性生态用地约为 530.8 万  $km^2$ 。在此背景下,中国国土生态供给价值、生态文化价值和生态承载价值之和为 18.16 万亿美元,三者所占比例分别为 18.8%、8.4%和 72.8%,而以基础性生态用地衡量的国土生态调节价值为 8351.2 亿美元。2008 中国国土生态系统生产总值约为 19 万亿美元,是当年国内生产总值 4.71 万亿美元的 4 倍,广东、山东、河南位居前三,西藏最低;人均生态系统总值约为 1.45 万美元/人,西藏和内蒙古居前两位,甘肃最低。

(3) 本文虽然构建了统一的生态用地分类系统,并以此为基础基于土地利用变更调查数据估算生态用地的生态调节价值,但由于生态用地规模及时空格局变化是基于不同土地分类体系的衔接和数据的转换,考虑

到《全国土地分类(过渡期间适用)》中的人工草地在范围上大于生态用地分类中的人工生态草地、有林地中人工林地的范围大于人工生态林地,会导致生态用地规模估算结果偏大,最终会造成基础性生态用地的生态调节价值偏大。考虑到生态调节价值与其他三项价值相比数量级小,上述情形不会对生态系统生产总值估算造成大的影响。

此外,在能值分析过程中,下一步也可根据地域特点对能值货币比率的选择予以更有针对性的考量,例如可以划分几个大区分别确定不同的数值等,进一步提高生态系统服务价值能值估算的准确性和可靠性。

#### 参考文献(References):

- [1] 欧阳志云,朱春全,杨广斌,徐卫华,郑华,张琰,肖隼. 生态系统生产总值核算:概念、核算方法与案例研究. 生态学报, 2013, 33(21): 6747-6761.
- [2] 马世骏,王如松. 社会—经济—自然复合生态系统. 生态学报, 1984, 4(1): 1-9.
- [3] Liu J, Dietz T, Carpenter S, Folke C, Alberti M, Redman C, Schneider S, Ostrom E, Pell A, Lubchenco J, Taylor W, Ouyang Z, Deadman P, Kratz T, Provencher W. Coupled human and natural systems. *Ambio*, 2007, 36(8): 639-649.
- [4] 沈颢,卡玛·尤拉. 国民幸福:一个国家发展的指标体系. 北京:北京大学出版社, 2011.
- [5] UNDP. Human Development Report 1990: Concept and Measurement of Human Development. New York: Technical Report, UNDP, 1990.
- [6] Daily G C, Söderquist T, Aniyar S, Arrow K, Dasgupta P, Ehrlich P R, Folke C, Jansson A, Jansson B O, Kautsky N, Levin S, Lubchenco J, Mäler K G, Simpson D, Starrett D, Tilman D, Walker B. The value of nature and the nature of value. *Science*, 2000, 289(5478): 395-396.
- [7] Chee Y E. An ecological perspective on the valuation of ecosystem services. *Biological Conservation*, 2004, 120(4): 549-565.
- [8] Spash C L. The Concerted Action on Environmental Valuation in Europe (EVE): an introduction. *Environmental Valuation in Europe(EVE)*. UK: Cambridge Research for the Environment, 2000.
- [9] Randall A. Chapter 4. Benefit-cost considerations should be decisive when there is nothing more important at stake // Bromley D W, Paavola J, eds. *Economics, Ethics, and Environmental Policy: Contested Choices*. Oxford: Blackwell Publishing, 2002.
- [10] Rapport D J, Gaudet C, Karr J R, Baron J S, Bohlen C, Jackson W, Jones B, Naiman R J, Norton B, Pollock M M. Evaluating landscape health: integrating societal goals and biophysical process. *Journal of Environmental Management*, 1998, 53(1): 1-15.
- [11] Pearce D. Cost benefit analysis and environmental policy. *Oxford Review of Economic Policy*, 1998, 14(4): 84-100.
- [12] 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.
- [13] 陈作州,张宇清,吴斌,李志沛,耿相国,冯靖宇,田世艳,雷娜. 山东省农田防护林生态系统服务功能价值核算. 生态学杂志, 2012, 31(1): 59-65.
- [14] 于书霞,尚金城,郭怀成. 生态系统服务功能及其价值核算. 中国人口. 资源与环境, 2004, 14(5): 42-44.
- [15] 孟祥江,侯元兆. 森林生态系统服务价值核算理论与评估方法研究进展. 世界林业研究, 2010, 23(6): 8-12.
- [16] 许旭,李晓兵,符娜,李超. 生态系统服务价值核算在土地利用规划战略环境评价上的应用——以北京市为例. 资源科学, 2008, 30(9): 1382-1388.
- [17] 尹剑慧,卢欣石. 草原生态服务价值核算体系构建研究. 草地学报, 2009, 17(2): 174-180.
- [18] 张伟,张宏业,张义丰. 生态系统服务功能价值核算与地理学综合研究. 地理科学进展, 2009, 28(3): 465-470.
- [19] Odum H T, Diamond C, Brown M T. Energy Systems Overview of the Mississippi River Basin. Report to The Cousteau Society. Gainesville: Center for Wetlands, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, 1987.
- [20] Brown M T, Herendeen R A. Embodied Energy Analysis and Emery Analysis: a Comparative View. *Ecological Economics*, 1996, 19(3): 219-235.
- [21] Campbell D E. Using energy systems theory to define, measure, and interpret ecological integrity and ecosystem health. *Ecosystem Health*, 2000, 6(3): 181-204.
- [22] Cuadra M, Rydberg T. Emery evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. *Ecological Modelling*, 2006, 196(3-4): 421-433.
- [23] Lu H F, Campbell D, Chen J, Qin P, Ren H. Conservation and economic viability of nature reserves: An emery evaluation of the Yancheng biosphere reserve. *Biological Conservation*, 2007, 139(3/4): 415-438.
- [24] 张攀. 复合产业生态系统能值分析评价和优化研究[D]. 大连:大连理工大学, 2011.
- [25] 谭程程. 黑龙江省生态经济系统能值分析与情景预测[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2012.
- [26] 隋春花,蓝盛芳. 广州与上海城市生态系统能值的分析比较. 城市环境与城市生态, 2006, 19(4): 1-3.

- [27] 赵晟, 李梦娜, 吴常文. 舟山海域生态系统服务能值价值评估. 生态学报, 2015, 35(3): 1-11.
- [28] 管新建, 齐雪艳, 吴泽宁, 李恩宽, 杜凯. 东居延海生态系统服务功能价值的能值分析. 水土保持研究, 2012, 19(5): 253-256, 261-261.
- [29] 李睿倩, 孟范平. 填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估——以套子湾为例. 生态学报, 2012, 32(18): 5825-5835.
- [30] 李丽锋, 惠淑荣, 宋红丽, 苏芳莉. 盘锦双台河口湿地生态系统服务功能能值价值评价. 中国环境科学, 2013, 33(8): 1454-1458.
- [31] 赵晟, 洪华生, 张珞平, 陈伟琪. 中国红树林生态系统服务的能值价值. 资源科学, 2007, 29(1): 147-154.
- [32] 张兆永. 于田绿洲水生态系统服务价值估算与农业生态经济系统能值分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2011.
- [33] 孙洁斐. 基于能值分析的武夷山自然保护区生态系统服务功能价值评估[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [34] 汤萃文, 杨莎莎, 刘丽娟, 张忠明, 肖笃宁, 田赐冬. 基于能值理论的东祁连山森林生态系统服务功能价值评价. 生态学杂志, 2012, 31(2): 433-439.
- [35] 喻锋, 李晓波, 张丽君, 徐卫华, 符蓉, 王宏. 中国生态用地研究: 内涵、分类与时空格局. 生态学报, 2015, 35(14): 1-15.
- [36] 董雅文, 周雯, 周岚, 周惠. 城市化地区生态防护研究——以江苏省、南京市为例. 城市研究, 1999, (2): 6-10.
- [37] 宗毅, 汪波. 城市生态用地的“协调—集约”度创新研究. 科学管理研究, 2005, 23(6): 32-35, 57-57.
- [38] 韩学敏, 濮杰, 朱明, 许艳. 环太湖地区有效生态用地面积的测算分析. 中国农学通报, 2010, 26(22): 301-305.
- [39] 岳健, 张雪梅. 关于我国土地利用分类问题的讨论. 干旱区地理, 2003, 26(1): 78-88.
- [40] 陈婧, 史培军. 土地利用功能分类探讨. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2005, 41(5): 536-540.
- [41] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 吴钢. 区域生态用地的概念及分类. 生态学报, 2009, 29(3): 1519-1524.
- [42] 俞孔坚, 乔青, 李迪华, 袁弘, 王思思. 基于景观安全格局分析的生态用地研究——以北京市东三乡为例. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1932-1939.
- [43] 张旭东, 臧利强, 何晨燕, 何剑刚. 哈尔滨市市区与城区生态用地遥感综合调查与评价. 北方环境, 2002, (2): 47-50.
- [44] 张红旗, 王立新, 贾宝全. 西北干旱区生态用地概念及其功能分类研究. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 5-8.
- [45] 邓小文, 孙始超, 韩士杰. 城市生态用地分类及其规划的一般原则. 应用生态学报, 2005, 16(10): 2003-2006.
- [46] 周焱, 蔡学成, 谢元贵, 吴凯, 田丹. 典型岩溶地区生态用地研究——以清镇市为例. 中国土地科学, 2006, 20(5): 38-41, 62-62.
- [47] 王振健, 李如雪. 城市生态用地分类功能及其保护利用研究——以山东聊城市为例. 水土保持研究, 2006, 13(6): 306-308.
- [48] 易湘生, 王静爱, 岳耀杰. 基于沙区土地功能分类的土地利用变化与模式研究——以陕北榆阳区为例. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2008, 44(4): 439-443.
- [49] 王利文. 中国北方农牧交错带生态用地变化对农业经济的影响分析. 中国农村经济, 2009, (4): 80-85.
- [50] 赵丹, 李锋, 王如松. 城市生态用地的概念及分类探讨. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(专刊): 337-342.
- [51] 杨建敏, 马晓萱, 董秀英. 生态用地控制性详细规划编制技术初探——以天津滨海新区外围生态用地为例. 城市规划, 2009, 33(增刊): 21-25.
- [52] 李晓丽, 曾光明, 石林, 梁婕, 蔡青. 长沙市城市生态用地的定量分析及优化. 应用生态学报, 2010, 21(2): 415-421.
- [53] 李妹娟, 李洪远, 孟伟庆. 滨海新区生态用地特征与低碳目标下的优化策略. 中国发展, 2011, 11(4): 82-87.
- [54] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [55] 金丹. 矿山生态系统物能流核算[D]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2012.
- [56] 金丹, 卞正富. 基于能值和GEP的徐州市生态文明核算方法研究. 中国土地科学, 2013, 27(10): 88-94.
- [57] Odum H T. Handbook of Emery Evaluation Folio 2: Emery of Global Processes. Gainesville: Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, 2000.
- [58] 朱玉林. 基于能值的湖南农业生态系统可持续发展研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010.
- [59] 谢正峰, 彭慧丽. 基于能值的梅州市生态经济系统可持续发展分析. 聊城大学学报: 自然科学版, 2013, 26(2): 83-89.
- [60] 周连第, 胡艳霞, 严茂超, 董孝斌, 吴志强, 魏长山. 生态经济系统能值分析——以北京密云县为例. 地理科学进展, 2006, 25(5): 94-104.
- [61] 辛琨, 肖笃宁. 盘锦地区湿地生态系统服务功能价值估算. 生态学报, 2002, 22(8): 1345-1349.
- [62] 许妍, 高俊峰, 黄佳聪. 太湖湿地生态系统服务功能价值评估. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 646-652.
- [63] 李琳, 张杰, 马毅. 现代黄河三角洲湿地生态服务功能价值评估研究. 城市勘测, 2013, (4): 98-103.
- [64] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.
- [65] 鲁绍伟. 中国森林生态服务功能动态分析与仿真预测[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.