

# 生态系统服务消费计量 ——以传统农业区贵州省从江县为例

焦雯珺<sup>1,2</sup>, 闵庆文<sup>1,\*</sup>, 成升魁<sup>1</sup>, 甄霖<sup>1</sup>, 刘雪林<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**目前国内对生态系统服务的研究多是从供给的角度对生态系统服务的功能量和价值量进行评估,对生态系统服务的消费及其与供给的相互关系重视不够。以传统农业区贵州省从江县为例,利用不同计量方法对当地居民对生态系统服务的消费进行测算,并对当地的生态系统服务供给-消费平衡关系进行衡量。结果表明:(1)价值量方法、能值分析方法和生态足迹方法的计量结果都说明,从江县居民对供给服务的消费构成了生态系统服务消费的主体部分;(2)运用能值分析方法和生态足迹方法得到的负荷能力系数表明,从江县 2007 年基本上处于生态系统服务供需平衡状态。尽管几种方法各有优缺点,但都不失为计量生态系统服务消费的有效方法。

**关键词:**生态系统服务消费;计量方法;传统农业;全球重要农业文化遗产;贵州省从江县

## Measurement of ecosystem services consumption: a case study of the traditional agricultural area in Congjiang County of Guizhou Province

JIAO Wenjun<sup>1,2</sup>, MIN Qingwen<sup>1,\*</sup>, CHENG Shengkui<sup>1</sup>, ZHEN Lin<sup>1</sup>, LIU Xuelin<sup>1,2</sup>

1 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Most studies on ecosystem services in China have been primarily focused on assessments of their functions and values from the perspective of supply. While assessments and methods of ecosystem services valuation are continuously emerging, there has been little attention to assessment of their consumption from the demand perspective or to analyzing the relationship between supply and consumption. This paper was designed to use different methods for measurement of ecosystem services consumption of the traditional agricultural area in Congjiang County, Guizhou Province. This paper also tried to evaluate the effectiveness of the different methods for measurement of ecosystem services consumption and how these methods can measure the balance between supply and consumption of ecosystem services in the county. Results from monetary measurement, emergy analysis and ecological footprint all show that the consumption of provision service constitutes the main part of ecosystem services consumption in Congjiang County. As is shown by emergy analysis and ecological footprint, Congjiang County has a total ecological balance in 2007 which is at breakeven level. Comparison of methods for measurement of ecosystem services illustrates the usefulness of the methods as a tool to monitor and manage our ecological assets although each method of measurement has its own strengths and weaknesses.

**Key Words:** ecosystem services consumption; measurement method; traditional agriculture; Globally Important Agricultural Heritage System (GIAHS); Congjiang County of Guizhou Province

自然生态系统作为地球生命支撑系统,是人类社会系统产生和发展的基础。人类的生产和生活离不开生

**基金项目:**农业部国际交流合作专项资助项目;国际合作资助项目

**收稿日期:**2009-05-11; **修订日期:**2009-08-20

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: minqw@igsrr.ac.cn

态系统提供的食物、水、燃料等生态系统产品和大气调节、废弃物同化等生态系统服务。生态系统产品和服务通称为生态系统服务,即人们直接或间接从生态系统中获得的利益<sup>[1]</sup>。另一方面,人类通过消费生态系统提供的各种服务直接或间接的影响着生态系统的变化,从而与生态系统服务之间形成一种动态的相互作用关系<sup>[2]</sup>。然而,人类在开发和利用生态系统的过程中,并没有充分认识到生态系统对人类社会的效用以及人类消费对生态系统的压力。目前,人类滥用和过度利用生态系统服务的现象极为普遍,已经严重威胁到生态系统的健康状态,并进而威胁到人类社会的可持续发展。因此,必须充分认识到生态系统的供给能力和人类社会对生态系统服务的消费以及二者之间的相互作用关系,从而制定出科学合理的生态系统管理方法,最终实现人与自然的和谐发展。

## 1 问题的提出

1997 年 Costanza 等<sup>[3]</sup>首次得出了全球生态系统的服务价值,推动了全球范围的生态系统服务功能及其价值评估的研究与应用。此后,我国众多学者开始对森林<sup>[4-7]</sup>、草地<sup>[8-9]</sup>、湿地<sup>[10-11]</sup>、城市<sup>[12-13]</sup>、农田<sup>[14-15]</sup>等典型生态系统的服务功能及其价值评估理论与方法进行探讨,在生态系统服务领域的多个方面都取得了比较显著的进展。然而,要实现人类社会系统与自然生态系统的和谐发展,人类的消费必须在自然的承载能力之内,因此,不仅要了解生态系统的供给能力,还要了解人类社会的消费能力。国内大多数研究都是从供给的角度对生态系统服务的功能量和价值量进行评估,只有少数学者<sup>[2,16-18]</sup>尝试从需求的角度出发对生态系统服务的消费及其与生态系统服务供给的相互关系进行研究。

尽管目前生态系统服务消费研究还没有形成较为成熟的理论基础和研究方法,但是其对于实现科学的生态系统管理和人类社会的可持续发展具有重要意义,也将为生态学研究开拓一个崭新的研究领域。生态系统服务消费研究首先要回答的问题是“消费了多少”,因此,生态系统服务消费的计量是生态系统服务研究的重要组成部分。本文以传统农业地区贵州省从江县为例,利用不同计量方法对当地居民对生态系统服务的消费进行测算,并对当地的生态系统服务供给-消费平衡关系进行衡量,旨在充分认识传统农业地区实现可持续发展所面临的各种威胁,从而为传统农业地区进行科学的生态系统管理、实现人与自然的和谐发展提供理论依据。

## 2 研究区概况

从江县属贵州省黔东南苗族侗族自治州所辖,位于云贵高原边缘向广西低山丘陵过渡、苗岭山脉南缘与南岭桂北诸山接壤地带。全县总面积 3244 km<sup>2</sup>,其中林地面积 2103.9 km<sup>2</sup>,草地面积 480.5 km<sup>2</sup>,耕地面积 169.9 km<sup>2</sup>,分别占土地总面积的 64.9%、14.8% 和 5.2%。当地生态系统提供的主要生态系统服务包括初级产品提供、水资源供给、大气调节、土壤保持、水源涵养、废物处理等。从江县共辖 21 个乡镇 294 个行政村,2007 年全县总人口 32.82 × 10<sup>4</sup> 人,其中农业人口 30.79 × 10<sup>4</sup> 人,占全县总人口的 93.8%,以苗、侗、壮、瑶等为主的少数民族 30.95 × 10<sup>4</sup> 人,占全县总人口的 94.3%。2007 年全县生产总值为 10.9 × 10<sup>8</sup> 元,人均生产总值为 3329 元。

作为一个典型的传统农业地区,从江县的城镇化水平非常低,当地居民过着传统、简朴的生活,主要消费为基本生存资料的消费。而当地大部分的生产活动都是为了满足自身的消耗,生产过程本身就是一个自我服务的过程。稻田养鱼是当地居民满足自身消费最主要的生产方式,并且在维持生态平衡、改善农田环境、保护生物多样性等多个方面也起到了积极作用。然而,由于片面强调“以粮为纲”和现代农业技术的大力推广,从江县的传统稻田养鱼生产方式不断受到冲击,稻田养鱼面积一直在不断下降。为了对其独特的稻田养鱼生产方式和由此产生的鲜明的地方传统文化进行保护,联合国粮农组织将贵州省从江县侗族地区的稻田养鱼列为“稻鱼共生”全球重要农业文化遗产的协作点。

## 3 生态系统服务消费计量方法

de Groot<sup>[19]</sup>、Costanza<sup>[3]</sup>、Daily<sup>[20]</sup>等很多学者都对生态系统服务的类型进行过不同的划分。谢高地等<sup>[16]</sup>根据中国民众和决策者对生态系统服务的理解状况,将生态系统服务重新划分为 4 个一级类型、14 个二级类

型和 31 个三级类型。

本文对传统农业地区贵州省从江县 2007 年生态系统服务消费的计量便基于此分类系统,涉及到供给服务和调节服务 2 个一级类型,初级产品提供、水资源供给、大气调节和废物处理 4 个二级类型,食物生产、原材料生产、淡水供给、CO<sub>2</sub> 固定、多余氮素的去除和分解 5 个三级类型;采用的计量方法则包括物质质量方法、价值量方法、能值分析方法和生态足迹方法共 4 种方法(表 1);使用的数据主要来自《黔东南苗族侗族自治州农业资源信息数据集》、《2007 从江县领导干部手册》、《贵州省统计年鉴 2008》<sup>[21]</sup>、《2007-中国农产品价格调查年鉴》<sup>[22]</sup>、从江县相关部门提供的内部资料以及相关文献等。

表 1 从江县 2007 年生态系统服务消费的类型和计量方法

Table 1 Ecosystem services types and measurement methods for their consumption in Congjiang County in 2007

生态系统服务类型 Ecosystem services type			物质质量方法 Physical measurement	价值量方法 Monetary measurement	能值分析方法 Emergy analysis	生态足迹方法 Ecological footprint
一级分类 First class	二级分类 Second class	三级分类 Third class				
供给服务 Provision service	初级产品提供 Primary product provision	食物生产 Food production	√	√	√	√
		原材料生产 Raw materials production	√	√	√	√
	水资源供给 Water supply	淡水供给 Fresh water supply	√	√	√	
调节服务 Regulation service	大气调节 Gas regulation	CO <sub>2</sub> 固定 CO <sub>2</sub> fixation	√	√	√	√
	废物处理 Waste treatment	多余氮素的去除和分解 Removal and decomposition of surplus nitrogen	√	√	√	

表中√表示该计量方法涉及该生态系统服务类型

### 3.1 物质质量计量方法

物质质量计量方法是通过计算直接消费的生态系统服务的物质质量来表征消费水平的计量方法。对于有形的生态系统服务而言,如初级产品提供和水资源供给,可以通过直接测定消费的生态系统服务的重量、体积等来计量消费量;而对于无形的生态系统服务来说,如大气调节、废物处理等调节服务,则可以将其转化为与之相关联的物质质量的消费来间接计量其消费量<sup>[23]</sup>。具体来说,本文通过直接测定当地居民对农副产品、动物产品、林产品和淡水资源的消费量,来计量当地居民对食物生产、原材料生产和淡水供给服务的消费量;而对于 CO<sub>2</sub> 固定、多余氮素的去除和分解服务消费量的计量,本文则转化为计量当地居民在消费这些服务的过程中所消费的相关联的物质的量,即通过计算当地居民对电力、煤炭、燃料等能源的消费量以及多余氮肥的施用量来间接计量 CO<sub>2</sub> 固定、多余氮素的去除和分解服务的消费量。

### 3.2 价值量计量方法

价值量计量法通过衡量消费的生态系统服务的经济价值来计量生态系统服务的消费量,以货币单位表示。对于具有完全市场的生态系统服务,可以直接利用市场价格来衡量其消费量的价值;对于具有不完全市场或不存在市场的生态系统服务,则需要采用相应的价值评估技术,用评估结果来衡量其消费量的价值。

本文采用市场价值法对食物生产和原材料生产服务的消费量进行计量,公式如下:

$$V_f = \sum Q_{fi} \times P_{fi} \tag{1}$$

式(1)中, $V_f$ 为食物生产服务消费的价值量(元); $Q_{fi}$ 为第  $i$  种食物的消费量(kg); $P_{fi}$ 为第  $i$  种食物的市场价格(元/kg)。

$$V_r = \sum Q_{ri} \times P_{ri} \tag{2}$$

式(2)中, $V_r$ 为原材料生产服务消费的价值量(元); $Q_{ri}$ 为第  $i$  种原材料的消费量(kg); $P_{ri}$ 为第  $i$  种原材料的市场价格(元/kg)。

淡水供给服务消费根据消费的对象又可分工业用水、生活用水、灌溉和牲畜用水,其消费量亦可利用市场价值法进行计量:

$$V_h = \sum Q_{hi} \times P_{hi} \quad (3)$$

式(3)中, $V_h$ 为淡水供给服务消费的价值量(元); $Q_{hi}$ 为工业用水量、生活用水量、灌溉和牲畜用水量( $\text{m}^3$ ); $P_{hi}$ 为工业用水价格、居民生活用水价格、灌溉和牲畜用水价格(元/ $\text{m}^3$ ),分别为 1.75、2.00 元/ $\text{m}^3$ <sup>①</sup>和 0.03 元/ $\text{m}^3$ <sup>[24]</sup>。

人类社会对电力、煤炭、燃料等能源的消耗释放出大量  $\text{CO}_2$ ,需要生态系统对  $\text{CO}_2$  进行固定。因此, $\text{CO}_2$  固定服务的消费量可采用影子价格法来进行计量,公式如下:

$$V_c = \sum Q_{ci} \times P_c = \sum \alpha_{ci} \times Q_i \times P_c \quad (4)$$

式(4)中, $V_c$ 为  $\text{CO}_2$  固定服务消费的价值量(元); $Q_{ci}$ 为第  $i$  种能源的碳排放量(kg); $P_c$ 为  $\text{CO}_2$  固定的造林成本,0.2609 元/ $\text{kgC}$ <sup>[25]</sup>;  $Q_i$ 为第  $i$  种能源的消费量(kWh 或 kg 或 L); $\alpha_{ci}$ 为第  $i$  种能源的碳排放系数(kg/unit)。

研究表明,作物对施入农田的氮肥的利用率仅占施入量的 30%—40%<sup>[26]</sup>,其余则通过氨挥发、硝化-反硝化、渗漏和径流等多种途径损失,大部分成为地表水污染的来源,需要生态系统对这些多余的养分进行去除和分解。本文将 60% 作为农田氮素的损失率,采用费用分析法对多余氮素的去除和分解服务的消费量进行计算:

$$V_n = 0.6 \times Q_n \times P_n \quad (5)$$

式(5)中, $V_n$ 为多余氮素去除和分解服务消费的价值量(元); $Q_n$ 为氮肥消费量(kg); $P_n$ 为氮素的边际消减成本,79.15 元/ $\text{kgN}$ <sup>[27]</sup>。

在完成各类生态系统服务消费价值量计量的基础上,将各类生态系统服务消费的价值量相加,便得到从江县 2007 年生态系统服务消费的总价值量,计算公式如下:

$$V = \sum V_i \quad (6)$$

式(6)中, $V$ 为生态系统服务消费的总价值量(元); $V_i$ 为第  $i$  种生态系统服务消费的价值量(元)。

### 3.3 能值分析方法

生态系统服务的消费量也可以用生态系统服务形成过程中直接或间接消耗的太阳能焦耳总量来度量,即通常所指的能值分析方法。该方法利用能值转换率将不同类别生态系统服务的消费量转换为统一的太阳能值,计算公式如下:

$$E_m = \sum E_{mi} = \sum E_{mi} \times T_{ri} = \sum ec_i \times Q_i \times T_{ri} \quad (7)$$

式(7)中, $E_m$ 为总能值(sej); $E_{mi}$ 为第  $i$  种消费项目的能值(sej); $E_{ri}$ 为第  $i$  种消费项目的能量(J); $T_{ri}$ 为第  $i$  种消费项目的能值转换率(sej/J); $ec_i$ 为第  $i$  种消费项目的能量含量(J/unit); $Q_i$ 为第  $i$  种消费项目的消费量(kg 或  $\text{m}^3$  或 kWh 或 L)。

本文利用能值转换率将消费的农副产品、动物产品和林产品、工业、生活、灌溉和牲畜用水、电力、煤炭和燃料以及多余氮肥转换为统一的太阳能值,来计量食物生产、原材料生产、淡水供给、 $\text{CO}_2$  固定、多余氮素的去除和分解服务的消费量。

### 3.4 生态足迹方法

生态足迹方法通过衡量满足一定人口对生态系统服务的消费所需要的生物生产性土地面积来计量生态系统服务的消费量,以面积单位表示。该方法将一定人口对生态系统服务的消费转化为耕地、林地、草地、水域、化石能源地和建设用地 6 类土地的面积,再利用均衡因子将每一类土地类型转化为世界平均土地,计算公

① <http://www.gz12358.gov.cn/>

式如下:

$$EF = \sum EF_i = r_j \times \sum (aa_i) = r_j \times \sum (c_i/p_i) \quad (8)$$

式(7)中, $EF$  为总生态足迹( $\text{hm}^2$ ); $EF_i$ 为第*i*种消费项目的生态足迹( $\text{hm}^2$ ); $aa_i$ 为第*i*种消费项目折算的生物生产性土地面积( $\text{hm}^2$ ); $r_j$ 为均衡因子; $p_i$ 为第*i*种消费项目的世界平均生产能力( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ); $c_i$ 为第*i*种消费项目的总消费量( $\text{kg}$ )。

本文通过计算农副产品、动物产品和林产品消费对生态空间的占用来计量食物和原材料生产服务的消费量。 $\text{CO}_2$ 固定服务的消费量则可以通过计算吸收化石能源燃烧释放的 $\text{CO}_2$ 所需要的土地面积而得到,主要包括住户和交通工具的能源消耗。而淡水供给服务、多余氮素的去除和分解服务在传统的生态足迹方法中并没有涉及到。

### 3.5 负荷能力系数

负荷能力系数是 Siche 等<sup>[28]</sup>提出的,用来衡量人类对生态系统的占用是否在生态系统的承载能力之内。本文将其定义为生态系统服务供给与消费的比值,用来衡量人类对生态系统服务的消费与生态系统提供服务的能力之间的关系,计算公式如下:

$$LCF = E_s/E_c \quad (9)$$

式(9)中, $LCF$ 为负荷能力系数; $E_s$ 为生态系统服务供给量(元或 sej 或  $\text{hm}^2$ ); $E_c$ 为生态系统服务消费量(元或 sej 或  $\text{hm}^2$ )。

## 4 生态系统服务消费计量结果与分析

### 4.1 从江县 2007 年生态系统服务消费基本特征

利用物质量方法、价值量方法、能值分析方法和生态足迹方法,对从江县 2007 年各类消费项目的消费量进行计算,结果见表 2。

表 2 从江县 2007 年各类消费项目消费计量结果

Table 2 Calculation results of various items consumed in Congjiang County in 2007

生态系统服务类型 Ecosystem service type	消费项目 Consumption item	物质量方法 Physical measurement	价值量方法 Monetary measurement	能值分析方法 Emergy analysis	生态足迹方法 Ecological footprint
		消费量 Quantity	消费量 Quantity/元	消费量 Quantity/sej	消费量 Quantity/ $\text{hm}^2$
食物生产 Food production	水稻 Rice	$7.74 \times 10^7 \text{ kg}$	$1.49 \times 10^8$	$7.24 \times 10^{19}$	0.1255
	小麦 Wheat	$3.62 \times 10^6 \text{ kg}$	$5.79 \times 10^6$	$7.20 \times 10^{18}$	0.0087
	红薯 Sweet potato	$6.11 \times 10^6 \text{ kg}$	$6.54 \times 10^6$	$3.83 \times 10^{18}$	0.0030
	玉米 Corn	$8.58 \times 10^6 \text{ kg}$	$1.35 \times 10^7$	$1.25 \times 10^{20}$	0.0116
	马铃薯 Potato	$7.95 \times 10^6 \text{ kg}$	$1.07 \times 10^7$	$2.23 \times 10^{19}$	0.0032
	花生 Peanut	$1.44 \times 10^6 \text{ kg}$	$1.21 \times 10^7$	$4.27 \times 10^{19}$	0.0065
	豆类 Beans	$1.99 \times 10^6 \text{ kg}$	$8.14 \times 10^6$	$1.96 \times 10^{19}$	0.0059
	蔬菜 Vegetables	$7.39 \times 10^7 \text{ kg}$	$1.32 \times 10^8$	$1.41 \times 10^{19}$	0.0349
	西瓜 Watermelon	$1.55 \times 10^7 \text{ kg}$	$4.03 \times 10^7$	$1.03 \times 10^{19}$	0.0040
	柑桔 Orange	$3.15 \times 10^7 \text{ kg}$	$8.73 \times 10^7$	$6.04 \times 10^{19}$	0.0079
	牛肉 Beef	$2.43 \times 10^6 \text{ kg}$	$5.37 \times 10^7$	$1.18 \times 10^{20}$	0.1099
	羊肉 Mutton	$8.00 \times 10^4 \text{ kg}$	$1.94 \times 10^6$	$4.50 \times 10^{18}$	0.0036
	鱼 Fish	$4.55 \times 10^5 \text{ kg}$	$4.37 \times 10^6$	$3.95 \times 10^{19}$	0.0172
	油菜籽 Rapeseed	$5.23 \times 10^6 \text{ kg}$	$1.91 \times 10^7$	$1.12 \times 10^{20}$	0.0215
原材料生产 Raw materials production	棉花 Cotton	$5.00 \times 10^4 \text{ kg}$	$3.12 \times 10^5$	$1.16 \times 10^{18}$	0.0001
	甘蔗 Sugarcane	$3.58 \times 10^5 \text{ kg}$	$6.27 \times 10^5$	$1.36 \times 10^{17}$	0.00003
	饲料 Feed	$1.89 \times 10^7 \text{ kg}$	$2.97 \times 10^7$	$3.60 \times 10^{17}$	0.0306
	木材 Wood	$5.89 \times 10^4 \text{ m}^3$	$3.57 \times 10^7$	$5.18 \times 10^{19}$	0.1208
	柴薪 Fuel wood	$1.15 \times 10^5 \text{ m}^3$	—	$1.01 \times 10^{20}$	0.2359

续表		物质量方法	价值量方法	能值分析方法	生态足迹方法
生态系统服务类型	消费项目	Physical measurement	Monetary measurement	Emergy analysis	Ecological footprint
Ecosystem service type	Consumption item	消费量 Quantity	消费量 Quantity/元	消费量 Quantity/sej	消费量 Quantity/hm <sup>2</sup>
淡水供给 Fresh water supply	工业用水 Water for industrial use	1.90 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	3.33 × 10 <sup>6</sup>	2.40 × 10 <sup>18</sup>	—
	生活用水 Water for domestic use	1.38 × 10 <sup>7</sup> m <sup>3</sup>	2.76 × 10 <sup>7</sup>	3.32 × 10 <sup>18</sup>	—
	灌溉和牲畜用水 Water for irrigation and livestock	9.24 × 10 <sup>7</sup> m <sup>3</sup>	2.77 × 10 <sup>6</sup>	1.19 × 10 <sup>19</sup>	—
CO <sub>2</sub> 固定 CO <sub>2</sub> fixation	电力 Electricity	1.50 × 10 <sup>8</sup> kWh	3.91 × 10 <sup>7</sup>	1.45 × 10 <sup>20</sup>	0.0043
	煤炭 Coal	1.21 × 10 <sup>7</sup> kg	1.16 × 10 <sup>7</sup>	2.18 × 10 <sup>19</sup>	0.0160
	燃料 Fuel	3.49 × 10 <sup>6</sup> L	2.50 × 10 <sup>6</sup>	1.85 × 10 <sup>19</sup>	0.0048
多余氮素的去除和分解 Removal and decomposition of surplus nitrogen	多余氮肥 Surplus nitrogen fertilizer (N)	8.88 × 10 <sup>5</sup> kg	7.03 × 10 <sup>7</sup>	3.60 × 10 <sup>19</sup>	—

为了对结果进行更好的比较和分析,根据所涉及的生态系统服务类型,将各类消费项目的消费量进行汇总,得到从江县 2007 年消费的各类生态系统服务的价值量、能值和生态足迹(表 3)。尽管利用不同计量方法得到的结果的单位不同,很难对其绝对值进行横向的比较,但是本文在此尝试对每种方法的计量结果中各类生态系统服务所占的百分比进行比较。

表 3 从江县 2007 年各类生态系统服务消费计量结果  
Table 3 Calculation results of various ecosystem services consumed in Congjiang County in 2007

生态系统服务类型 Ecosystem service type		价值量方法 Monetary measurement		能值分析方法 Emergy analysis		生态足迹方法 ecological footprint	
		消费量 Quantity/元	百分比/% Percentage	消费量 Quantity/sej	百分比/% Percentage	消费量 Quantity/hm <sup>2</sup>	百分比/% Percentage
供给服务 Provision service	食物生产 Food production	5.24 × 10 <sup>8</sup>	68.37	5.40 × 10 <sup>20</sup>	51.43	0.3420	44.06
	原材料生产 Raw materials production	0.85 × 10 <sup>8</sup>	11.14	2.66 × 10 <sup>20</sup>	25.33	0.4091	52.71
	淡水供给 Fresh water supply	0.34 × 10 <sup>8</sup>	4.39	0.18 × 10 <sup>20</sup>	1.68	—	—
调节服务 Regulation service	CO <sub>2</sub> 固定 CO <sub>2</sub> fixation	0.53 × 10 <sup>8</sup>	6.94	1.85 × 10 <sup>20</sup>	17.62	0.0251	3.23
	多余氮素的去除和分解 Removal and decomposition of surplus nitrogen	0.70 × 10 <sup>8</sup>	9.16	0.36 × 10 <sup>20</sup>	3.44	—	—
合计 Total		7.66 × 10 <sup>8</sup>	100.00	10.45 × 10 <sup>20</sup>	100.00	0.7761	100.00

从表 3 中可以看出,从江县 2007 年生态系统服务消费的总价值量为 7.66 × 10<sup>8</sup> 元,其中供给服务消费量所占比例高达 83.90%,构成了从江县生态系统服务消费的主体部分;而当地居民对调节服务的消费则相对较少,所占比例仅为 16.10%。尽管在废物处理服务消费计量中本文只考虑了多余氮素的去除和分解,并没有考虑磷、钾等元素以及有害化合物如农药的去除和分解,但是该服务消费量所占的比例高达 9.16%,已经超过淡水供给和 CO<sub>2</sub> 固定服务所占的比例。价值量方法计算得到的多余氮素的去除和分解服务消费量是 3 种方法中最高的,这是因为在缺乏当地标准的情况下,本文引用的氮素边际消减成本源自欧洲波罗的海的研究结果,高于中国的实际消减成本,这使得多余氮素的去除和分解服务消费的价值量在一定程度上被高估了。

从江县 2007 年生态系统服务消费的总能为  $10.45 \times 10^{20}$  sej, 供给服务和调节服务的消费量分别占到消费总量的 78.84% 和 21.16%, 供给服务消费依然是从江县居民生态系统服务消费的主体部分。调节服务消费中有 4/5 来自当地居民对  $\text{CO}_2$  固定服务的消费, 占到生态系统服务消费总量的 17.62%, 高于价值量方法和生态足迹方法的计量结果。这是因为化石燃料在产生过程中消耗了大量的太阳能, 能源品质比较高, 因此利用能值分析方法计算得到的  $\text{CO}_2$  固定服务的消费量较高。而价值量方法中使用的权重是中国 2000 年的造林成本, 这使得从江县 2007 年  $\text{CO}_2$  固定服务消费的价值量在一定程度上被低估了。生态足迹方法则是先将各类能源的消费量转化为相应的热量, 再除以全球平均能源足迹。作为典型的传统农业地区, 从江县的能源足迹明显低于全球平均水平, 使用全球平均值导致从江县  $\text{CO}_2$  固定服务消费的生态足迹偏低。

从江县 2007 年生态系统服务消费的总生态足迹为  $0.7761 \text{ hm}^2$ , 其中供给服务消费量所占比例为 96.77%, 调节服务消费量仅占 3.23%, 这同样表明从江县居民对供给服务的消费是生态系统服务消费的主要组成部分。不同的是, 原材料消费量所占比例是 3 种计量方法中最高的, 超过了生态系统服务消费总量的 1/2。这是因为价值量方法从经济学的角度来衡量生态系统服务消费, 认为生态系统服务的真实价值为市场价格和消费者剩余之和<sup>[29]</sup>, 而能值分析方法和生态足迹方法则从生态系统内部出发来衡量生态系统服务的消费。以柴薪消费的计量为例。尽管柴薪是从江县居民最主要的生活能源, 但是当地居民长期以来从生态系统中以低廉的价格甚至是无偿地获取柴薪, 从中得到了大量消费者剩余。在本文中消费者剩余并未计入到柴薪消费的价值量中, 但是却考虑了柴薪形成过程中对太阳能的消耗以及消费柴薪对林地的占用, 而这种考虑在柴薪生态足迹的计算中得到了更为充分的体现。

#### 4.2 从江县 2007 年生态系统服务供给-消费平衡状况

在利用不同方法计量得到从江县 2007 年生态系统服务消费量的基础上, 结合以往研究得到的从江县 2007 年生态系统服务供给量, 利用负荷能力系数计算得到从江县 2007 年生态系统服务供给-消费平衡关系 (表 4)。

表 4 从江县 2007 年生态系统服务供给-消费平衡表

Table 4 Balance between supply and consumption of ecosystem services in Congjiang County in 2007

计量方法 Measurement method	生态系统服务供给 Ecosystem service supply	生态系统服务消费 Ecosystem service consumption	负荷能力系数 Load capacity factor
价值量计量方法 Monetary measurement	$48.96 \times 10^8 \text{ yuan}^{[15]}$	$7.66 \times 10^8 \text{ yuan}$	6.38
能值分析方法 Emergy analysis	$9.49 \times 10^{20} \text{ sej}^{[30]}$	$10.45 \times 10^{20} \text{ sej}$	0.90
生态足迹方法 Ecological footprint	$0.8748 \text{ hm}^2^{[31]}$	$0.7761 \text{ hm}^2$	1.13

从表 4 中可以看出, 3 种计量方法得到的从江县 2007 年生态系统服务负荷能力系数差异十分显著。从江县 2007 年生态系统服务的消费价值远远低于供给价值, 以致价值量方法得到的负荷能力系数高达 6.38, 这表明生态系统不仅能够完全满足当地居民对产品和服务的消费, 还有 5 倍之多的大量盈余。能值分析方法得到的负荷能力系数略小于 1, 说明生态系统提供产品和服务的能力能够满足当地居民绝大部分的需求, 另有 10% 的需求很有可能通过一些破坏性的生产活动得到满足。而生态足迹方法得到的负荷能力系数则略大于 1, 这说明生态系统的供给能力能够满足当地居民对产品和服务的需求且略有剩余。总的来说, 运用能值分析方法和生态足迹方法得到的结果与从江县的实际情况比较一致, 即从江县 2007 年基本上处于生态系统服务供需平衡状态。

#### 5 结论

本文利用物质质量方法、价值量方法、能值分析方法和生态足迹方法, 对传统农业地区贵州省从江县 2007 年生态系统服务的消费量进行了估算, 并引入负荷能力系数, 对从江县 2007 年生态系统服务的供给-消费平衡状况进行了分析。结果表明: (1) 价值量方法、能值分析方法和生态足迹方法的计量结果都说明, 从江县居民对供给服务的消费构成了生态系统服务消费的主体部分; (2) 运用能值分析方法和生态足迹方法得到的负

荷能力系数表明,从江县 2007 年基本上处于生态系统服务供需平衡状态,这与从江县的实际情况比较一致。

## 6 讨论

人类社会对生态系统产品与服务的消费主要体现在对实物的消费(物质质量)、通过支付资金获得的消费(价值量)、折算成能量的消费(能值)和对形成这些产品和服务所占用的土地资源的消费(生态足迹)。如何计量生态系统服务消费是生态系统服务消费研究的重要组成部分。本文以传统农业地区为例,对生态系统服务消费的物质质量、价值量、能值分析和生态足迹 4 种计量方法进行了探讨。

物质质量方法是其他 3 种方法应用的基础,具有直观、易理解、易统计等特点。然而,由于生态系统服务类型之间存在差异,不能采用统一的物质质量方法进行计量,因此不同类型生态系统服务之间缺乏可比性。即使在同一生态系统服务类型中,由于消费品之间存有差异,不同类型消费品之间也不能直接进行比较。价值量方法、生态足迹方法和能值分析方法将不同类型生态系统服务的消费量用统一的单位进行表示,克服了物质质量计量结果缺乏可比性的缺陷,有利于在不同类型生态系统服务之间进行比较和分析。不同的是,能值分析方法和生态足迹方法排除了价格等外在因素,从生态系统内部出发来衡量生态系统服务的消费,并采用了统一的计算方法来计量生态系统服务消费,并不因生态系统服务类型之间的差异而有所不同,这使得生态系统服务消费的生态足迹和能值计量结果较价值量计量结果更具有可比性。相对于生态足迹方法,能值分析方法能够涉及到更多种类的生态系统服务,从而能够更加全面的反映当地居民对生态系统服务的消费。然而,能值分析方法虽然具有强劲的理论基础,但是其计算过程也是四种方法中最为复杂的,这大大降低了它的可操作性。

尽管本文在生态系统服务消费计量方面进行了有益探索,但是本文必须承认在数据收集、方法应用等多个方面都存有不足。例如,本文没有对生态系统服务的消费者剩余进行合理估算,这使得生态系统服务消费的价值量在一定程度上被低估了;在缺乏当地标准的情况下,本文使用了中国 2000 年的造林成本和欧洲波罗的海的氮素边际消减成本,这种权重的选择对最终的结果都产生了一定的影响;另外,生态足迹方法是将生态系统服务消费量转化为全球公顷,这在一定程度上忽略了从江县自身的特点,也对最终的结果产生了一定的影响。

## References:

- [ 1 ] WGMEA. Ecosystem and human well-being: A framework for assessment. Washington, Covelo, London: Island Press, 2003.
- [ 2 ] Zhen L, Liu X L, Wei Y J. Consumption of ecosystem services: Models, measurement and management framework. *Resources Science*, 2008, 30 (1): 100-106.
- [ 3 ] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, (387): 253-260.
- [ 4 ] Xue D Y, Bao H S, Li W H. A valuation study on the indirect values of forest ecosystem in Changbaishan Mountain Biosphere Reserve of China. *China Environmental Science*, 1999, 19(3): 246-252.
- [ 5 ] Yu X X, Qin Y S, Chen L H, Liu S. The forest ecosystem services and their valuation of Beijing Mountain Areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (5): 783-786.
- [ 6 ] Zhao T Q, Ouyang Z Y, Zheng H, Wang X K, Miao H. Forest ecosystem services and their valuation in China. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(4): 480-491.
- [ 7 ] Jin F, Lu S W, Yu X X, Rao L Y, Niu J Z, Xie Y Y, Zhang Z M. Forest ecosystem service and its evaluation in China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(8): 1531-1536.
- [ 8 ] Xie G D, Zhang Y L, Lu C X, Zheng D, Cheng S K. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 46-53.
- [ 9 ] Min Q W, Xie G D, Hu D, Shen L, Yan M C. Service valuation of grassland ecosystem in Qinghai Province. *Resources Science*, 2004, 26(3): 56-60.
- [ 10 ] Xin K, Xiao D N. Wetland ecosystem service valuation: A case research on Panjin Area. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1345-1349.



- [11] Duan X N, Wang X K, Ouyang Z Y. Evaluation of wetland ecosystem services in Wuliangsuhai. *Resources Science*, 2005, 27(2): 110-115.
- [12] Zong Y G, Xu H Y, Tang Y B, Chen H C. The systematic analysis on value of urban ecosystem services. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1999, 4(12): 19-22.
- [13] Li F, Wang R S. Evaluation, planning and prediction of ecosystem services of urban green space: A case study of Yangzhou City. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1929-1936.
- [14] Xiao Y, Xie G D, Lu C X, Ding X Z, Lv Y. The gas regulation function of rice paddy ecosystems and its value. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(5): 617-623.
- [15] Zhang D, Min Q W, Cheng S K, Liu M C, Xiao Y, Zhang B, Sun Y H, Zhu F. Ecosystem services evaluation of traditional agricultural regions: A case study of Congjiang County, Guizhou Province. *Resources Science*, 2009, 31(1): 31-37.
- [16] Xie G D, Zhen L, Lu C X, Cao S Y, Xiao Y. Supply, consumption and valuation of ecosystem services in China. *Resources Science*, 2008, 30(1): 93-99.
- [17] Dong J H, Bao C K, Shu T F. Analysis on the balance between supply and consumption of ecosystem services. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 2001-2010.
- [18] Liu X L, Zhen L. Stakeholders consumption of ecosystem services and willingness to accept: A case study in Jinghe Watershed. *Resources Science*, 2007, 29(4): 103-108.
- [19] de Groot R S. *Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision Making*. Groningen: Wolters-Noordhoff, 1992: 315.
- [20] Daily G C. *Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystem*. Washington, DC: Island Press, 1997: 1-22.
- [21] Guizhou Provincial Bureau of Statistics. *Guizhou Provincial Statistical Yearbook 2008*. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [22] Rural Social Investigation Department of State Statistic Bureau. *China Yearbook of Agricultural Price Survey 2007*. Beijing: China Statistics Press, 2007.
- [23] Liu X L. *Consumption of ecosystem services: A case study in Jinghe Watershed of Western China*. Beijing: Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, 2009.
- [24] Li W H. *Valuation on ecosystem services: Theory, method and application*. Beijing: Chinese People's University Press, 2008: 349.
- [25] Xiao Y, Xie G D. Comprehensive valuation of the ecosystem services of rice paddies in Shanghai. *Resources Science*, 2009, 31(1): 38-47.
- [26] Chen G J, Cao L K, Lu Y T, Zhang D D. Study of the testing hole on the nitrogen loss in the rice field. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2003, 21(4): 320-324.
- [27] Turner R K, Georgiou S, Gren I M, Wulff F, Barrett S, Soderqvist T, Bateman I, Folke C, Langaas S, Zylicz T, Maler K C, Markowska A. Managing nutrient fluxes and pollution in the Baltic: An interdisciplinary simulation study. *Ecological Economics*, 1999, 30: 817-839.
- [28] Siche P, Ortega E, Agostinho F. Ecological footprint based on emergy (EEF): Peru as case study. *International Ecological Footprint Conference*, Cardiff, UK, 2007.
- [29] Dixon J A, Scura L F, Carpenter R A, Sherman P B, eds. He X T, Zhou G M, Wang C, trans. *Economic analysis of environmental impacts*. Beijing: Environmental Science Press, 2001.
- [30] Min Q W, Jiao W J, Cheng S K, Zhang D, Yang H L. Sustainability analysis on traditional agricultural areas with the ecological footprint based on emergy (EEF): The case of Congjiang County of Guizhou Province, China. *Ecological Complexity*, 2010.
- [31] Jiao W J, Min Q W, Cheng S K, Zhang D, Yang H L, He L, Liu S. Sustainable development analysis from ecological footprints of traditional agricultural areas: A case study of Congjiang County of Guizhou Province. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(2): 354-358.

#### 参考文献:

- [2] 甄霖, 刘雪林, 魏云洁. 生态系统服务消费模式、计量及其管理框架构建. *资源科学*, 2008, 30(1): 100-106.
- [4] 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): 246-252.
- [5] 余新晓, 秦永胜, 陈丽华, 刘松. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究. *生态学报*, 2002, 22(5): 783-786.
- [6] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 480-491.
- [7] 靳芳, 鲁绍伟, 余新晓, 饶良懿, 牛建植, 谢媛媛, 张振明. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1531-1536.
- [8] 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): 46-53.

- [9] 闵庆文,谢高地,胡聃,沈镭,严茂超. 青海草地生态系统服务功能的价值评估. 资源科学,2004,26(3):56-60.
- [10] 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.
- [11] 段晓男,王效科,欧阳志云. 乌梁素海湿地生态系统服务功能及价值评估. 资源科学,2005,27(2):110-115.
- [12] 宗跃光,徐宏彦,汤艳冰,陈红春. 城市生态系统服务功能的价值结构分析. 城市环境与城市生态,1999,4(12):19-22.
- [13] 李锋,王如松. 城市绿地系统的生态服务功能评价、规划与预测研究——以扬州市为例. 生态学报,2003,23(9):1929-1936.
- [14] 肖玉,谢高地,鲁春霞,丁贤忠,吕耀. 稻田生态系统气体调节功能及其价值. 自然资源学报,2004,19(5):617-623.
- [15] 张丹,闵庆文,成升魁,刘某承,肖玉,张彪,孙业红,朱芳. 传统农业地区生态系统服务功能价值评估——以贵州省从江县为例. 资源科学,2009,31(1):31-37.
- [16] 谢高地,甄霖,鲁春霞,曹淑艳,肖玉. 生态系统服务的供给、消费和价值化. 资源科学,2008,30(1):93-99.
- [17] 董家华,包存宽,舒廷飞. 生态系统生态服务的供应与消耗平衡关系分析. 生态学报,2006,26(6):2001-2010.
- [18] 刘雪林,甄霖. 社区对生态系统服务的消费和受偿意愿研究——以泾河流域为例. 资源科学,2007,29(4):103-108.
- [21] 贵州省统计局. 贵州省统计年鉴 2008. 北京:中国统计出版社,2008
- [22] 国家统计局农村社会经济调查司. 2007-中国农产品价格调查年鉴. 北京:中国统计出版社,2007
- [23] 刘雪林. 生态系统服务消费研究——以泾河流域为例. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2009.
- [24] 李文华著. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京:中国人民大学出版社,2008:349
- [25] 肖玉,谢高地. 上海市郊稻田生态系统服务综合评价. 资源科学,2009,31(1):38-47.
- [26] 陈国军,曹林奎,陆贻通,张大弟. 稻田氮素流失规律测坑研究. 上海交通大学学报(农业科学版),2003,21(4):320-324.
- [29] Dixon J A, Scura L F, Carpenter R A, Sherman P B 著. 何雪炆,周国梅,王灿,译. 环境影响的经济分析. 北京:中国环境出版社,2001.
- [31] 焦雯珺,闵庆文,成升魁,张丹,杨海龙,何露,刘珊. 基于生态足迹的传统农业地区可持续发展评价——以贵州省从江县为例. 中国生态农业学报,2009,17(2):354-358.