

DOI: 10.5846/stxb201902210314

耿静,任丙南.生态系统生产总值核算理论在生态文明评价中的应用——以三亚市文门村为例.生态学报,2020,40(10):3236-3246.

Geng J, Ren B N. Application of the gross ecosystem product accounting theory on rural ecological civilization assessment in Hainan Province: A case study of Wenmen Village in Sanya. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(10): 3236-3246.

生态系统生产总值核算理论在生态文明评价中的应用 ——以三亚市文门村为例

耿 静^{1,2,*}, 任丙南¹

1 三亚学院翟明国院士工作站, 三亚 572000

2 三亚学院旅游学院, 三亚 572000

摘要:乡村生态文明建设是海南生态省建设的重要内容。通过培育“文明生态村”、打造“美丽乡村”,海南省乡村生态文明建设进入提质增效的生态产业化阶段,为乡村迎来了发展机遇。生态系统生产总值核算可以通过在乡村尺度上计算生态系统产品与服务的价值,起到监督、评价生态文明建设进展,探寻生态保护与乡村经济发展的平衡点,为实现彼此增益提供科学的数据支撑。同时,生态系统生产总值核算可以客观呈现当前乡村的生态价值,以此可以吸引资本、技术、人才等要素向农村流动,推动绿水青山变成金山银山。研究以海南省三亚市天涯区文门村为例,基于生态系统生产总值核算理论,对其生态系统产品与服务功能量 and 价值量进行核算。结果表明,文门村 2017 年生态系统生产总值是 10297.79 万元,生态系统产品价值占 24.93%,调节服务价值占 75.07%,单位面积生态系统生态总值为 5.06 万元/hm²。调节服务价值中,水源涵养、洪水调蓄、固碳释氧和空气净化价值分别为 3287.44 万元、1593.32 万元、2815.31 万元和 34.72 万元;林地对生态调节服务价值的贡献最大,达到 5378.33 万元,约占总间接价值的 69.57%,其次为耕地和园地生态系统,约占总间接价值的 14.86% 和 11.66%。今后随着乡村生态文明建设的深入,自然资源管理制度的健全,生态农业与乡村旅游有机融合等建设内容的推进,乡村生态系统生产总值核算的内容需要进一步扩充。

关键词:乡村生态文明;生态系统生产总值;生态系统服务功能;海南省

Application of the gross ecosystem product accounting theory on rural ecological civilization assessment in Hainan Province: A case study of Wenmen Village in Sanya

GENG Jing^{1,2,*}, REN Bingnan¹

1 Academician Workstation of Zhai Mingguo, University of Sanya, Sanya 572000, China

2 Tourism and Hospitality School, University of Sanya, Sanya 572000, China

Abstract: Construction of rural ecological civilization is one of the major projects in the ecological conservation of Hainan Province. By cultivating “Civilization Eco-Villages” and creating “Beautiful Villages”, the ecological civilization in Hainan Province has gradually advanced in depth, and it has ushered in a rare opportunity for development in the rural areas. The gross ecosystem product (GEP) accounting can play the role of evaluating the performance of ecological civilization through calculating the values of ecosystem products and services, and eventually supply the scientific data to decision makers for finding the balance between ecological protection and rural economic development in the future. At the same time, it can be used to reveal the current resource values of the village that will help to attract more capital, technology, talents and other to

基金项目:国家社会科学基金项目(15BJY025)

收稿日期:2019-02-21; 网络出版日期:2020-04-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: smallgeng@163.com

the rural area, and make lucid waters and lush mountains invaluable assets. In this paper, GEP of Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province was accounted as a case study. The results showed that the GEP of Wenmen Village in 2007 was 10297.79×10^4 yuan and the value per unit area was 5.06×10^4 yuan/hm². The value of ecosystem products accounted for 24.93% and the value of ecosystem regulation services accounted for 75.07%. Among the value of services, the values of water conservation, flooding mitigation, C fixation, oxygen production, and air purification were 3287.44×10^4 yuan, 1593.32×10^4 yuan, 2815.31×10^4 yuan, and 34.72×10^4 yuan, respectively. The forest land contributed the most to the value of ecological regulation services, accounting for 69.57% of the total value, followed by the farmland (14.86%) and orchard land (11.66%). The study suggests that, with the future strengthening of rural ecological civilization construction, including the improvement of nature resource management system, and the integration of ecological agriculture and rural tourism, it is necessary to improve the content of accounting.

Key Words: rural ecological civilization; gross ecosystem product(GEP); ecosystem service; Hainan Province

打造人与自然和谐共生发展的美丽宜居乡村是中国特色社会主义新时代乡村振兴战略的重要内容^[1]。当前,乡村生态文明建设已经不仅仅是解决环境卫生状况问题,更重要的是以整体观统筹治理山水林田湖草系统。生态系统综合管理理念是实施山水林田湖草生态保护的核心理论基础^[2]。森林、草原、湿地、河流、山脉等环境要素具有多重服务价值,各服务之间存在此消彼长的权衡或彼此增益的协同关系,生态系统综合管理需要进行多目标权衡,维护和提升区域生态系统服务功能^[3-4]。因此,当前生态保护和建设突出强调对生态系统的综合管理与保护,以促进各生态系统全面的生态服务功能充分发挥为目标^[5-6]。已有较多的研究证实,生态系统服务功能的价值评估极大增进了人们对生态服务功能的认识^[7-9],同时为制定管理政策和评估政策提供了参考依据^[10-11]。目前,国家层面已经提出要把生态效益纳入经济社会发展评价体系,建立体现生态文明要求的绩效评价考核和责任追究制度,并在一些重点生态功能选择试点开展了以生态系统生产总值核算理论和方法为依托的评估^[12-13]。

海南省 1998 年在全国率先提出建设生态省,2007 年明确实施“生态立省”战略。多年来,环境质量持续全国领先。良好的生态环境成为海南发展的最强优势和最大本钱^[14]。乡村生态文明建设是海南生态省建设的主战场,也是海南生态省建设的“细胞工程”。2000 年就在全国首先开展文明生态村创建活动。到 2017 年海南累计创建文明生态村 17934 个,占全省自然村总数的 85% 以上^[15]。文明生态村建设最突出的成效是改善了村容村貌、乡村道路基础建设和环境卫生状况,持久创建在一定程度上使海南乡村的发展没有付出沉重的资源环境代价,保留了绿水青山、诗意田园。但如何将绿水青山的生态资源优势转化为生态经济优势始终是海南省乡村发展需要解决的突出问题。得利于文明生态村建设的基础和良好的资源环境禀赋,海南在“十三五”期间开展实施“美丽海南百千工程”,计划到 2020 年重点打造 100 个特色产业小镇,建设 1000 个宜业宜居宜游的美丽乡村^[16]。同时,海南美丽乡村建设和首个“全国全域旅游示范省”创建相结合,为乡村生态产业化带来了难得的机遇。但生态产业化的过程必将对村民生产和生活方式产生影响,乡村土地利用/覆被也将会带来变化,在一定空间上,就会存在开发利用与保护的冲突,以此产生对生态效益的影响。因此,今后的建设是否能确保生态系统健康和可持续发展,是否能确保生态产品供给和生态服务价值持续提升是当前在统筹山水林田湖草治理理念下美丽宜居乡村生态文明建设的目标。而传统的生态文明建设等级考核方式,不能反应生态资产的存量和流量,生态系统生产总值核算理论及方法可以起到核算生态资产价值的目标,起到客观定量衡量乡村生态文明建设成效的作用^[17]。通过生态系统生产总值的增长、稳定或降低既可以反映生态系统对经济社会发展支撑作用的变化趋势^[18],同时,又由于生态系统服务存在权衡关系,科学理解有利于实现经济发展和生态保护的“双赢”目标^[19-20]。因此,在海南省乡村生态文明建设进入提质增效的生态产业化阶段,生态系统生产总值核算可以为生态文明绿色发展绩效考核提供方法;其次,在生态产业化的起步阶段,生态系统生产总值可以客观呈现美丽乡村的生态价值,良好的生态环境是农村最宝贵的财富,以此可以吸引

更多资本、技术、人才等要素向农村流动,推动绿水青山变成金山银山。

国内研究学者在 21 世纪初就率先以海南为例,进行区域尺度的生态系统服务功能的空间分析与评价^[21-23],以及基于此的生态补偿标准的确立。研究区域主要集中在关系全国生态安全、承担水源涵养和生物多样性等重要生态功能的中部山区。此外,针对典型的森林生态系统^[24-26]、红树林生态系统^[27]和特定的生态系统服务功能如土壤保持功能^[28]、水源涵养功能^[29]、固碳^[30]等方面也开展了较丰富的研究,并且探讨了人类活动对自然生态系统服务的压力。但目前,还没有在村域级别基于生态系统生产总值核算理论,使用高分影像和生态系统服务模型刻画反应乡村生态文明建设的研究。本文以海南省生态文明建设示范村三亚市天涯区文门村为例,探讨村域范围内生态系统生产总值核算的方法,估算其 2017 年的生态系统生产总值。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

文门村隶属于海南省三亚市天涯区,地理坐标为东经 109°19',北纬 18°19'。属典型热带海洋季风气候,年平均气温 25.5℃,多年平均降雨量为 1475.5 mm。村域面积 19.6 km²,是一级行政村,下辖 13 个自然村(分别为上那后村,中那后村,下那后村,上文门村,中文门村,下文门村,加业村,神庭村,龙海村,西风村,拉丁村,东风村,力村),22 个村民小组,总户数 1282 户,人口 5845 人。

该村庄是一个有一千四百多年历史的纯黎族聚居村庄,文化底蕴深厚,曾是州官朝宦往返崖州的驿站和隐歇之处。村落四周青山环绕,地理雄奇,田间屋后可见大量的肖形巨石,狗尾河和文门水两条河流交汇于村内形成特有的水系流入南海,千亩稻田微风逐浪,百年贡果园古树参天,山水、林木、庭院、果园、奇石构成了文门村独特的自然田园风景。2017 年,文门村因其良好的自然生态环境和美丽乡村建设在村庄环境整治的突出成效,被国家住房和城乡建设部列入全国第一批“绿色村庄”名单,2018 年又被海南省住建厅授予“海南省五星级美丽乡村”称号。村民目前的经济收入主要以种植水稻、豇豆、苦瓜、芒果等农产品为主,同时有外出务工收入,2016 年人均年收入为 9015 元。

1.2 数据来源

本研究采用 2017 年 4 月份高分二号影像为主要数据源来解译文门村各生态系统的面积及空间分布,该影像数据包括 4 个多光谱波段,空间分辨率为 3.24 m;全色影像拥有 1 个波段(450—900 nm),空间分辨率为 0.81 m。使用 ENVI5.3 软件完成正射校正后,采用 Nearest Neighbor Diffusion(NNDiffuse)Pan Sharpening 算法进行多光谱影像与全色影像的融合,最终重采样生成空间分辨率为 1 m 的高空间分辨率多光谱影像。生态系统类型图主要基于处理后的高分二号数据采用面向对象的分类技术^[31-32],引入非影像光谱信息强化目标的识别能力,实现快速、高效的分类技术运作。本研究区域分类精度达到 90% 以上。数字高程模型 DEM,空间分辨率为 30 m,来源于国际科学数据服务平台。降水与温度数据,基于普通薄盘和局部薄盘样条函数插值理论^[33],气象样点数据来源于中国国家计量信息中心/中国气象局(NMIC/CMA)。实际蒸散发量既包括从地表和植物表面的水分蒸发,也包括通过植物表面和植物体内的水分蒸腾^[34]。本研究在监测站点数据的基础上,通过 Kriging 插值法进行空间内插得到蒸散发栅格图层^[35],数据来源于中国国家计量信息中心/中国气象局(NMIC/CMA)。土壤数据来源于中科院南京土壤研究所提供的 1:25 万数字化土壤图。NPP 算法参考朴世龙等^[36]、肖洋等^[33]选用 CASA 模型。植被覆盖度数据是基于像元二分模型通过高分影像反演得到^[37-38]。大气污染物浓度监测数据来源与海南省三亚市市政府,植被沉降速率及单位面积大气污染物净化量从 Yang 等^[39]文献中获取。负离子浓度数据选用文献^[26]提供的海南省次生林负离子浓度进行计算。

2 研究方法

生态系统生产总值是指在一定区域和时间内生态系统为人类提供的最终产品与服务的价值总和^[18,40]。本研究结合文门村生态系统产品和服务特征,在进行生态系统生产总值核算时,首先构建了表 1 所示的生态

系统产品和服务核算指标体系,根据该体系计算产品与服务的功能量,其次确定产品与服务的价格,最后通过功能量与价格计算生态系统生产总值。

在时间选取上,本研究将 2017 年作为研究年份。由于国产高分二号影像数据仅从 2015 年开始,结合 Landsat TM 数据及实地调查了解到,文门村是黎族村落,黎族村民奉行自然崇拜,爱护古树、保护林木已经成为文门人的自觉行为,而且乡村没有经历工业化的过程,近十余年该村的生态系统格局变化较小。当前的生态文明建设主要体现在对乡村基础设施的完善和环境卫生的整治,生态产业化还处于起步阶段,因此,文门村的生态系统服务功能的时间变化特征不突出,所以目前在研究时间尺度上仅选择了一期年份做估算。今后随着生态产业化过程的深入实施,可以从动态的角度对生态系统生产总值进行核算,以评价及科学推进生态文明建设。

表 1 生态系统生产总值功能量核算指标

Table 1 Evaluation items and methodology of ecosystem products and services

功能类别 Types	核算项目 Items	功能指标 Indicators	物理量评价方法 Methodology	主要模型 Model
产品提供功能 Ecosystem production	农业产品	农业产品产量	实地调查法	
	水资源量	生活用水	实地调查、估算法	
		农业用水量		
调节服务功能	水源涵养	水源涵养量	水量平衡法	InVEST 修正模型
Ecological regulation services	洪水调蓄	可 调 蓄 水 量 和 防 洪 库容	构建模型法(基于可调蓄水量与暴雨降雨的关系) 和水文监测	
	固碳释氧	固碳量	质量平衡法	CASA 模型
		释氧量	质量平衡法	
	空气净化	净化二氧化硫酸量	植物净化模型	干沉降模型
		净化氮氧化物量		
		净化工业粉尘量		
		提供负离子	《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008) 推 荐 公式	

2.1 生态系统服务功能

2.1.1 水源涵养功能

通过水量平衡方程(1)计算。水量平衡原理是指在一定的时空内,水分的运动保持着质量守恒,或输入的水量和输出的水量之间的差额等于系统内蓄水的变化量^[10]。

$$Q_{\text{waterconservation}} = \sum_{i=1}^j (P_i - R_i - ET_i) \times A_i \quad (1)$$

式中, $Q_{\text{waterconservation}}$ 为水源涵养量(m^3/a); P_i 为降雨量(mm/a); R_i 为径流量(mm/a); ET_i 为蒸散发量(mm/a); A_i 为*i*类生态系统的面积(m^2);*i*为研究区第*i*类生态系统类型;*j*为研究区生态系统类型数。

2.1.2 洪水调蓄功能

生态系统可以调节水流,并通过临时储存水来缓解洪水。其洪水调蓄量可以基于如下公式(2)计算:

$$C_{fc} = \sum_{i=1}^j (P_{hi} - R_{fi}) \times A_i \times 10^{-3} \quad (2)$$

式中, C_{fc} 为生态系统洪水调蓄能力(m^3/a); P_{hi} 为暴雨降雨量(mm/a); R_{fi} 为暴雨地表径流(mm/a),用径流系数确定; A_i 为生态系统的面积(m^2)。

2.1.3 固碳释氧功能

参考文献[32],依据式(3)计算固碳功能:

$$NEP = NPP - R_s \quad (3)$$

式中, NEP 为生态系统森林固碳量 ($g\ Cm^{-2}a^{-1}$); NPP 为生态系统森林净生产力 ($g\ Cm^{-2}a^{-1}$); R_s 为森林土壤呼吸损失碳量 ($g\ Cm^{-2}a^{-1}$), 计算方法参考文献 1。

依据式(4)计算释氧功能:

$$O_{\text{oxygenproduction}} = NPP \times 1.19 \quad (4)$$

式中 $O_{\text{oxygenproduction}}$ 为生态系统释氧量 ($g\ Cm^{-2}a^{-1}$); NPP 为生态系统净初级生产力 ($g\ Cm^{-2}a^{-1}$);

2.1.4 空气净化功能

空气净化功能主要包括植被吸收大气中的污染物起到大气净化的功能和生产负离子的功能。研究选用生态系统吸收二氧化硫、氮氧化物、阻滞吸收粉尘等指标核算生态系统净化空气的能力。大气中的颗粒污染物主要通过干沉降作用机制被运输到植被的表面而被吸收、过滤、阻隔和分解。

参考文献[39], 依据式(5)计算空气污染流:

$$F_i = V_{di} \times C_i \quad (5)$$

式中, F_i 为污染流 ($g\ cm^{-2}s^{-1}$), V_{di} 为沉降速率 (cm/s), C_i 为空气污染物浓度 (g/cm^3)。 $i=1$ 表示二氧化硫, $i=2$ 表示氮氧化物, 和 $i=3$ 表示总悬浮颗粒物。

参考文献[39], 依据式(6)计算被植被所吸收的空气污染流:

$$F_{it} = F_i \times CA \times T \quad (6)$$

式中, F_{it} 为植被净化空气污染物量, CA 为某一时期栅格的植被覆盖度, T 为持续的时间。本研究只关注林地和园地生态系统, 不考虑空气污染物在其他土地类型表面的沉降(如建筑用地, 街道, 水体等)。

累加植被净化的多种污染物得出生态系统空气净化总量, 式(7)。

$$Q_{\text{airpurification}} = \sum_{i=1}^n F_{it} \quad (7)$$

式中, $Q_{\text{airpurification}}$ 为生态系统空气净化总量 (kg/a); i 为大气污染物类别。

生产负离子量依据《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721-2008)提供公式(8)计算^[41]:

$$Q_{\text{anion}} = \sum_{i=1}^j 5.256 \times 10^{15} \times C_i \times A_i \times H_i / L \quad (8)$$

式中, Q_{anion} 为生态系统提供负离子个数 ($个/a$); C_i 为负离子浓度 ($个/cm^3$); A_i 为生态系统的面积 (hm^2); H_i 为植被高度 (m); L 为负离子寿命 (min)。本研究主要关注林地生态系统产生负离子量。

2.2 生态系统生产总值核算

进行生态系统价值量核算时, 一般采用的方法大致分为实际市场法、替代市场法和模拟市场法^[13]。在文门村生态系统生产总值核算中, 产品供给功能价值量通过市场价值法进行评估, 调节功能产生的价值主要用替代市场法进行评估。对于有当年单价的生态系统产品和服务, 根据当年价格核算其当年的价值; 对于没有当年单价的生态系统产品和服务, 将其在某一时期的价格, 通过价格指数折算成当年的名义价格, 用名义价格核算这些生态系统产品和服务当年的价值。

水源涵养价值主要表现在蓄水保水的经济价值, 此处采用影子工程法, 用模拟建设一座蓄水量与生态系统水源涵养量相当的水库, 所需要的费用作为生态系统的蓄水保水价值。洪水调蓄价值主要体现在减轻洪水威胁的经济价值, 洪水调蓄功能与水库的作用非常相似, 运用影子工程法, 通过建设水库的费用成本计算生态系统的洪水调蓄价值。固碳释氧的经济价值采用造林成本法和工业制氧成本法评估。生态系统空气净化价值采用防治费用法, 通过工业治理大气污染物成本评估生态系统空气净化价值。负离子价值按替代成本法《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721-2008)的推荐值计算。本研究运用到的价值核算参数信息主要来源于文献^[41-43]。

3 结果与分析

3.1 生态系统类型空间特征

文门村生态系统类型以林地为主,森林覆盖面积达到 62.6%以上,其次为耕地和园地,分别约占 15.5%和 11.2%。城镇和交通用地分别占 5.8%和 1.0%。湿地和人工绿地面积较低,仅为 3.4%和 0.06%(图 1,表 2)。

表 2 海南省三亚市天涯区文门村不同生态系统面积与比例

Table 2 Proportion of different types of ecosystem in Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province (2017)					
生态系统类型 Types	面积/hm ² Area	百分比/% Percent of area	生态系统类型 Types	面积/hm ² Area	百分比/% Percent of area/%
林地 Forest	1274.63	62.66	园地 Orchard	228.82	11.25
绿化用地 Green spaces	1.26	0.06	城镇 Urban village land	118.96	5.85
湿地 Wetland	69.96	3.44	交通 Transport land	21.10	1.04
耕地 Farmland	317.05	15.59	工矿 Industry land	2.49	0.12

图 1 可以看出,文门村主要村落集中在中部区域,经过实地调查掌握到,该区域内包含 12 个自然村,有居民住户 1224 户,聚集了 95%村民。文门村的耕地、园地、村镇建筑用地基本均集中在此区域。该区域三面环山,地势呈西高东低的特征。中部村落由北经西向南被锅岭、那后岭、金星岭、布山岭、马岭环绕。北部区域主要以热带山林为主,兼有一座水库,该区域仅有 1 个自然村力村。海南环岛西线高速公路 G98 从西向东将文门村中部村落和南部山岭马岭相隔。南部区域马岭和三亚市天涯海角景区相接,成为天涯海角景区重要的景观资源。

3.2 生态系统服务功能量及空间特征

文门村生态系统水源涵养总体上呈现南高北低特征,森林、园地生态系统发挥着重要的涵养功能(图 2)。由于南部地区降水丰富,使得南部地区的森林和园地水源涵养量较高;而北部地区由于多年降水相对较少,导致其水源涵养整体偏低,但北部地区的水库涵养量较高。2017 年文门村生态系统水源涵养总量为 1508.0 万 m³,单位面积水源涵养量为 0.7 m³/m²。

洪水调蓄总体上呈现北高南低、由北到南逐渐递减特征。由于文门村暴雨降雨集中发生在北部地区,所以北部地区的森林、园地、湿地等生态系统发挥着重要的洪水调蓄功能(图 3)。2017 年文门村生态系统洪水调蓄总量为 196.7 万 m³,单位面积洪水调蓄量为 0.1 m³/m²。其中,各生态系统中,森林是文门村生态系统洪水调蓄功能的主体,其洪水调蓄量为 142.6 万 m³,约占洪水调蓄总量的 72.5%。

生态系统固碳释氧量空间特征总体一致,均呈现北南高中间低、由南北向中部逐渐递减特征(图 4 和图 5)。固碳释氧量较高的区域主要集中在北部和南部的林地,而中部地区的固碳释氧量偏低。由于北部和南部地区植被集中,土壤质地好,生物多样性丰富,所以该地区固碳能力较高。2017 年生态系统固碳总量为 14228.4 t,单位面积固碳量为 699.7 g C/m²。生态系统释氧总量为 30957.6 t,单位面积释氧量为 1521.8 g/m²。

生态系统大气污染物净化空间特征呈现北高南低特征(图 6)。空气净化量较高的区域主要集中在北部

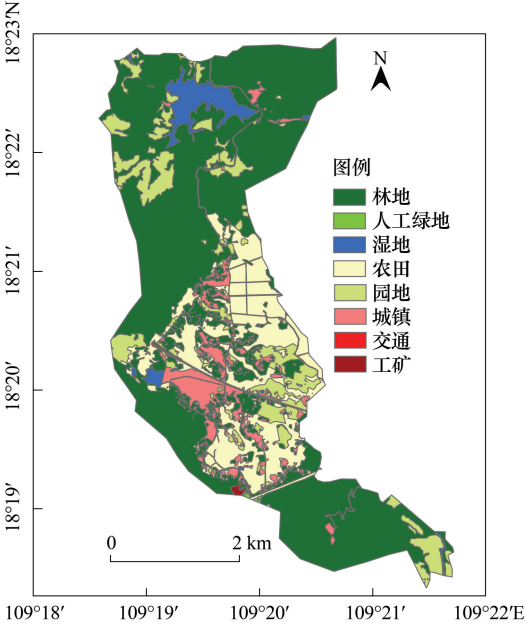


图 1 2017 年海南省三亚市天涯区文门村生态系统类型分布
Fig.1 The distribution of the ecosystems in Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province (2017)

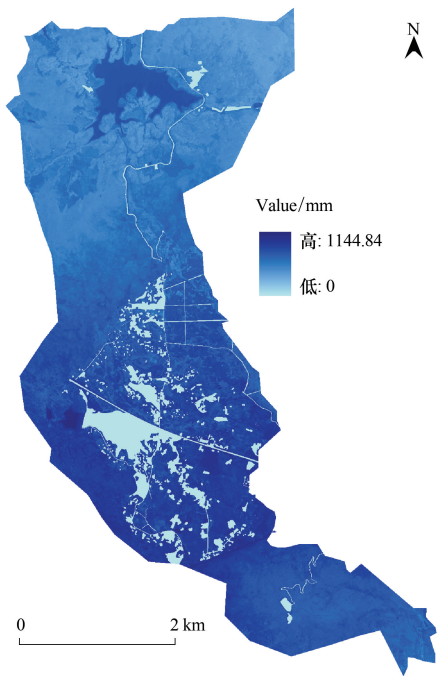


图 2 文门村生态系统水源涵养量
Fig. 2 Water conservation of ecosystem in Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province (2017)

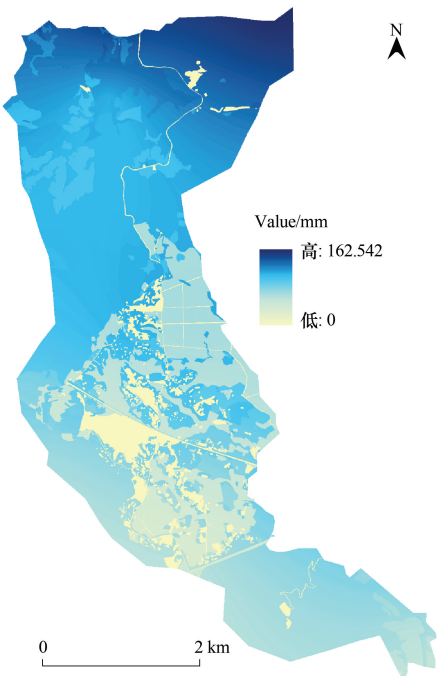


图 3 文门村生态系统洪水调蓄量
Fig. 3 Flooding mitigation of ecosystem in Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province (2017)

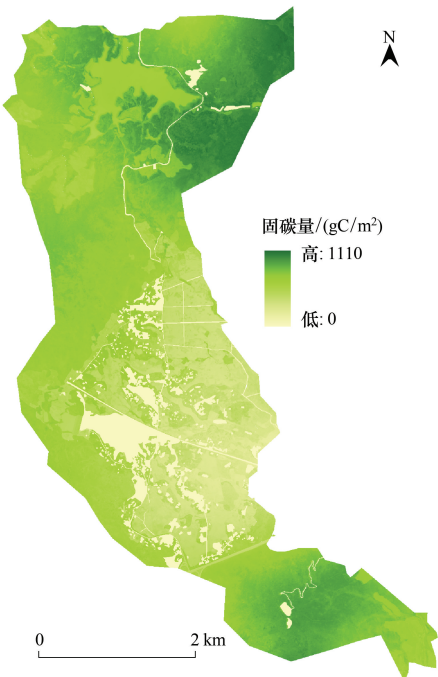


图 4 文门村生态系统固碳量
Fig.4 Cfixation of ecosystem in Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province (2017)

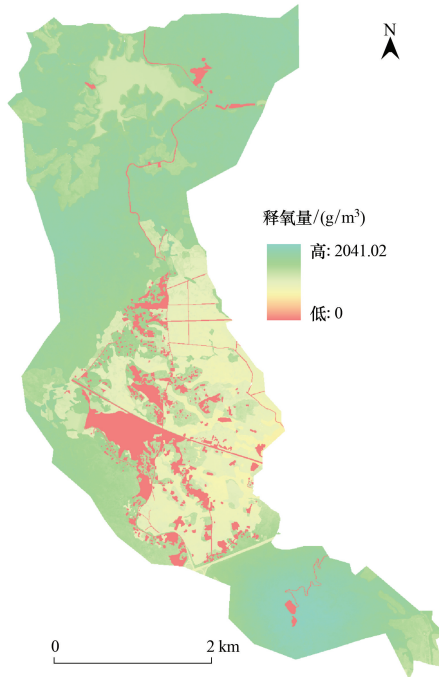


图 5 文门村生态系统释氧量
Fig. 5 Oxygen production of ecosystem in Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province (2017)

的林地和园地,而南部地区的绿地和林地空气净化能力偏低。由于北部地区靠近山区,自然植被集中,植被覆盖度和叶面积较高,对污染物的吸收能力较南边人工植被更高,所以该地区植被能吸收较多的空气污染物特别是悬浮颗粒物,所以该地区空气净化量较高。2017 年生态系统空气净化总量为 198.2 t,其中 SO_2 净化量为 31.7 t, NO_x 净化量为 43.5 t,悬浮颗粒物净化量为 122.9 t。2017 年生态系统产生负离子量为 5024.59×10^{19} 个。

3.3 生态系统生产总值

3.3.1 生态系统产品价值

文门村生态系统产品主要是水稻种植和冬季蔬菜。水稻种植面积约 248 hm^2 ;豇豆种植面积约 113 hm^2 。2017 年生态系统产品产值为 2567 万元,其中农产品产值约 2522 万元,水资源价值为 45 万元(表 3)。农产品中豇豆产值贡献最大,其次是苦瓜。水资源价值中尽管农业灌溉用水量远大于生活用水,但由于农业灌溉不收取水资源费,因此在当年度水资源价值量计算中并没有体现出农业灌溉用水的价值。

3.3.2 生态系统服务价值

根据文门村生态系统调节服务功能量,2017 年文门村生态系统所产生调节服务价值为 7730.80 万元,其中水源涵养服务功能的价值量最大,达到 3287.44 万元,约占总价值量的 42.52%;其次为固碳释氧和洪水调蓄的价值量,分别为 2815.32 万元和 1593.32 万元;空气净化价值占比较低,但其中的负氧离子价值占空气净化价值的 67.37%(表 4)。

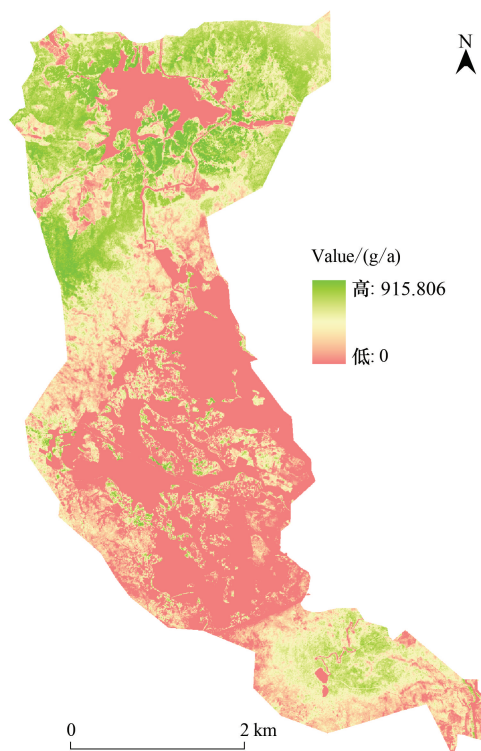


图 6 文门村生态系统空气净化量

Fig. 6 Air purification of ecosystem in Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province (2017)

表 3 文门村 2017 年生态系统产品价值量

Table 3 Output and value of ecosystem products in Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province (2017)

产品 Products	产量/t Production	价值/万元 Value	产品 Products	产量/t Production	价值/万元 Value
稻谷 Paddy	1259	340	辣椒 Peppers	75	30
豇豆 Long beans	3400	1360	生活用水 Domestic water	337081	45
苦瓜 Balsam pear	1500	600	农业灌溉用水 Irrigation water	6494664	0
芒果 Mangos	240	192	总计 Total		2567

对比分析各类型生态系统服务价值,林地对生态系统服务价值贡献作用最大,其服务价值为 5378.33 万元,约占总服务价值的 69.57%;其次为耕地和园地生态系统,约占总服务价值的 14.86%和 11.66%。文门村湿地和绿地的服务价值占比较低,分别占文门村生态系统总间接价值的 3.84%和 0.07%(表 5)。

3.3.3 文门村生态系统生产总值

文门村 2017 年生态系统生产总值是 10297.79 万元,生态系统产品价值占 24.93%,调节服务价值占 75.07%,单位面积生态系统生态总值为 5.06 万元/ hm^2 。文门村的生态系统调节服务价值远远高于其农业生产价值,说明该地区的自然生态系统对地区可持续发展的作用十分显著,政府应该继续加强对自然生态系统的保护和管理,特别是对该地区的森林生态系统的保护。

表 4 文门村 2017 年生态系统调节服务价值核算表

Table 4 Value of ecological regulation services in Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province (2017)

服务功能 Services	核算科目 Items	功能量 Services	价值量/万元 Value	小计/万元 Subtotal value	比例 Percentage/%
水源涵养 Water conservation	水源涵养量/(万 m ³)	1508.00	3287.44	3287.44	42.52
洪水调蓄 Flooding mitigation	洪水调蓄量/(万 m ³)	196.71	1593.32	1593.32	20.61
固碳释氧 C fixation and oxygen production	固碳/t	14228.41	549.22	2815.32	36.42
	释氧/t	30957.61	2266.10		
空气净化 Air purification	净化二氧化硫/t	31.75	4.00	34.72	0.45
	净化氮氧化物/t	43.57	5.49		
	净化 TSP/t	122.96	1.84		
	提供负离子/(10 ¹⁹ 个)	5024.59	23.39		
合计 Total value			7730.80	100	

表 5 文门村 2017 年各类生态系统调节服务价值

Table 5 Value of ecological regulation services in different ecosystem types in Wenmen Village, Tianya District, Sanya City, Hainan Province (2017)

类型 Types	水源涵养 价值/万元 Value of water conservation	洪水调蓄 价值/万元 Value of flooding mitigation	固碳释氧 价值/万元 Value of C fixation and oxygen production	空气净化 价值/万元 Value of air purification	小计/万元 Subtotal	比例/% Percentage
林地 Forest	2130.91	1155.70	2058.00	33.72	5378.33	69.57
绿化用地 Green spaces	2.72	0.64	1.62	0.00	4.98	0.07
湿地 Wetland	131.98	70.74	94.50	0.00	297.22	3.84
耕地 Farmland	613.70	180.31	355.13	0.00	1149.14	14.86
园地 Orchard	408.13	185.93	306.07	1.00	901.13	11.66
城镇 Urban village land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
交通 Transport land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
工矿 Industry land	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

4 结论

国家从战略定位上提出把海南建设成为“国家生态文明试验区”,为推动全国生态文明建设探索新经验。以绿色发展为导向的考核评价体系的建立将是海南省生态文明建设体制改革的重要内容。生态系统生产总值核算可以客观呈现海南省美丽乡村的生态优势和生态价值,能充分科学验证绿水青山就是金山银山,用当前的自然生态优势吸引最好的投资,以此实现乡村生态效益最大化。同时在海南美丽乡村进入生态产业化阶段,该方法可以起到精细化、流程化监督、评价乡村生态文明绿色绩效的目的,以其不降低作为约束条件增强可持续发展能力。

本研究首次将生态系统生产总值核算理论应用到乡村生态文明评价中。基于高分辨遥感数据和插值数据,以生态系统服务模型为技术手段,计算出乡村生态系统服务功能量 and 价值量。2017 年海南省三亚市文门村生态系统生产总值约为 10297.79 万元,其中生态产品的价值达到 2567 万元,生态系统调节服务的价值约为 7730.80 万元。“天涯苦瓜”和“文门豇豆”是其著名的农业产品,此两项农产品的价值占总生态产品价值的 77.7%。所计算的四类生态系统调节服务的价值按大小排序依次是水源涵养>固碳释氧>洪水调蓄>空气净化,水源涵养价值占总调节服务价值的 42.66%。文门村的林地生态系统所贡献的价值最大,其次为耕地和园地。

随着美丽乡村建设的深入和自然资源管理制度的健全,未来文门村的生态系统生产总值将会有较大的变化。在本研究中文门村的农业灌溉主要来自于本村的土壤水库和力村水库,但目前不征收农业灌溉水资源使用费。因此,产品供给价值中这部分价值的当前市场价值为零。但随着国家水资源有偿使用制度改革的推进,农业用水方式由粗放式向精细化转变,农业灌溉的水资源价值将合理体现。此外,生态系统的文化功能价值由于还没有通过生态旅游、生态教育的效应对外显现,本研究中没有计算其产生的价值。但在三亚市天涯区城乡发展规划中,文门村定位为田园特色的高端文化体验和康年养生度假区,确立了“天涯古村,文(彩)绘之乡”的村庄愿景。未来伴随生态农业与乡村旅游的有机融合,同时对文门村历史文化遗迹遗存的发掘,以文门村为依托的黎族非物质文化遗产功能的发挥,以休闲娱乐价值和文化遗产价值构成的文化服务价值将是核算的一个重要组成部分,今后需要增加生态产业化带来的文化服务价值到生态系统生产总值核算内容中。

参考文献 (References):

- [1] 中共中央国务院. 中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见. (2018-01-02) [2018-02-04]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5266232.htm.
- [2] 王夏晖, 何军, 饶胜, 蒋洪强. 山水林田湖草生态保护修复思路与实践. 环境保护, 2018, 46(S1): 17-20.
- [3] Rodriguez J P, Beard T D Jr, Bennett E M, Cumming G S, Cork S J, Agard J, Dobson A P, Peterson G D. Trade-offs across space, time, and ecosystem services. *Ecology and Society*, 2006, 11(1): 28.
- [4] 张惠远, 郝海广, 舒昶, 王一超. 科学实施生态系统保护修复切实维护生命共同体. 环境保护, 2017, 45(6): 31-34.
- [5] 沈国舫. 中国生态文明建设主题下的生态保护、修复和建设. 国土绿化, 2017, (5): 16-18.
- [6] 欧阳志云. 我国生态系统面临的问题与对策. 中国国情国力, 2017, (3): 5-10.
- [7] Costanza R, d'Arge R, deGroot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [8] 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): 635-639.
- [9] Daily G C, Söderqvist T, Aniyar S, Arrow K, Dasgupta P, Ehrlich P R, Folke C, Jansson A M, 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.
- [10] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wang Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Jiang L, Lu F, Wang X K, Yang G B, Gong S H, Wu B F, Zeng Y, Yang W, Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [11] Wang Y, Gao J X, Wang J S, Qiu J. Value assessment of ecosystem services in nature reserves in Ningxia, China: a response to ecological restoration. *PLoS One*, 2014, 9(2): e89174.
- [12] 中共中央国务院. 中共中央国务院印发《生态文明体制改革总体方案》. (2015-09-21). http://www.gov.cn/guowuyuan/2015-09/21/content_2936327.htm.
- [13] 欧阳志云, 郑华, 谢高地, 杨武, 刘桂环, 石英华, 杨多贵. 生态资产、生态补偿及生态文明科技贡献核算理论与技术. 生态学报, 2016, 36(22): 7136-7139.
- [14] 刘赐贵. 凝心聚力奋力拼搏加快建设经济繁荣社会文明生态宜居人民幸福的美好新海南——在中国共产党海南省第七次代表大会上的报告. (2017-04-25) [2017-05-02]. http://www.hainan.gov.cn/hn/yw/ldhd/201705/t20170502_2307136.html.
- [15] 周文彰. 海南文明生态村建设的理性思考. 南海学刊, 2018, 4(1): 6-9.
- [16] 海南省人民政府. 海南省人民政府关于印发海南省美丽乡村建设五年行动计划(2016-2020)的通知琼府〔2016〕18号. (2016-02-05) [2016-08-31]. <http://www.hainan.gov.cn/data/hnzb/2016/03/3498/>.
- [17] 蒋洪强, 吴文俊. 生态环境资产负债表促进绿色发展的应用探讨. 环境保护, 2017, 45(17): 23-26.
- [18] 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.
- [19] 郑华, 李屹峰, 欧阳志云, 罗跃初. 生态系统服务功能管理研究进展. 生态学报, 2013, 33(3): 702-710.
- [20] 戴尔阜, 王晓莉, 朱建佳, 赵东升. 生态系统服务权衡: 方法、模型与研究框架. 地理研究, 2016, 35(6): 1005-1016.
- [21] 肖寒. 区域生态系统服务功能形成机制与评价方法研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2001.
- [22] 欧阳志云, 赵同谦, 赵景柱, 肖寒, 王效科. 海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1395-1402.
- [23] 金羽. 海南省生态评价与生态功能区划研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.

- [24] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例. 应用生态学报, 2000, 11(4): 481-484.
- [25] 周亚东. 基于景观格局与生态系统服务功能的海南岛森林生态安全研究[D]. 海南: 海南大学, 2014.
- [26] 李意德, 杨众养, 陈德详, 薛杨, 骆土寿. 海南生态公益林生态服务功能价值评估研究. 北京: 中国林业出版社, 2016.
- [27] 辛琨, 黄星, 张淑萍. 海南东寨港红树林湿地生态功能评价. 湿地科学与管理, 2008, 4(4): 28-31.
- [28] 饶恩明, 肖燧, 欧阳志云, 郑华. 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素. 生态学报, 2013, 33(3): 746-755.
- [29] 文志, 赵赫, 刘磊, 欧阳志云, 郑华, 米红旭, 李彦旻. 土地利用变化对海南土壤水源涵养功能的影响. 应用生态学报, 2017, 28(12): 4025-4033.
- [30] Ren H, Li L J, Liu Q, Wang X, Li Y D, Hui D F, Jian S G, Wang J, Yang H, Lu H F, Zhou G Y, Tang X L, Zhang Q M, Wang D, Yuan L L, Chen X B. Spatial and temporal patterns of carbon storage in forest ecosystems on Hainan Island, Southern China. PLoS One, 2014, 9(9): e108163.
- [31] 周春艳, 王萍, 张振勇, 齐成涛. 基于面向对象信息提取技术的城市用地分类. 遥感技术与应用, 2008, 23(1): 31-35.
- [32] Xiao Y, Ouyang Z Y, Xu W H, Xiao Y, Zheng H, Xian C F. Optimizing hotspot areas for ecological planning and management based on biodiversity and ecosystem services. Chinese Geographical Science, 2016, 26(2): 256-269.
- [33] 肖洋, 欧阳志云, 王莉雁, 饶恩明, 江凌, 张路. 内蒙古生态系统质量空间特征及其驱动力. 生态学报, 2016, 36(19): 6019-6030.
- [34] Allan R G, Pereira L S, Raes D, Smith M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.
- [35] Xiao Y, Xiao Q, Ouyang Z Y, Maomao Q. Assessing changes in water flow regulation in Chongqing region, China. Environmental Monitoring and Assessment, 2015, 187(6): 362.
- [36] 朴世龙, 方精云, 郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力. 植物生态学报, 2001, 25(5): 603-608.
- [37] Leprieur C, Verstraete M M, Pinty B. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data. Remote Sensing Reviews, 1994, 10(4): 265-284.
- [38] Jiapaer G, Chen X, Bao A M. A comparison of methods for estimating fractional vegetation cover in arid regions. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151(12): 1698-1710.
- [39] Yang J, McBride J, Zhou J X, Sun Z Y. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. Urban Forestry & Urban Greening, 2005, 3(2): 65-78.
- [40] 欧阳志云, 靳乐山. 面向生态补偿的生态系统生产总值(GEP)和生态资产核算. 北京: 科学出版社, 2018.
- [41] 国家林业局. LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [42] 白玛卓嘎, 肖燧, 欧阳志云, 王莉雁. 甘孜藏族自治州生态系统生产总值核算研究. 生态学报, 2017, 37(19): 6302-6312.
- [43] 王莉雁, 肖燧, 欧阳志云, 韦勤, 博文静, 张健, 任苓. 国家级重点生态功能区县生态系统生产总值核算研究——以阿尔山市为例. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(3): 146-154.