

DOI: 10.5846/stxb201911142420

熊鹰, 孙维筠, 魏晓, 何杰旭, 赵丹丹, 孙冰, 陈雷. 南方丘陵山地生态系统服务与农村社区协同发展模式研究——以广东乐昌市 8 个乡村为例. 生态学报, 2020, 40(18): 6505-6521.

Xiong Y, Sun W J, Wei X, He J X, Zhao D D, Sun B, Chen L. Cooperative development model of ecosystem services and rural communities in hilly-mountain of Southern China: a case study of eight villages in Lechang, Guangdong Province. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(18): 6505-6521.

南方丘陵山地生态系统服务与农村社区协同发展模式研究

——以广东乐昌市 8 个乡村为例

熊 鹰^{1,2,*}, 孙维筠¹, 魏 晓², 何杰旭¹, 赵丹丹², 孙 冰³, 陈 雷³

1 长沙理工大学资源环境与城乡规划研究中心, 长沙 410114

2 湖南省经济地理研究所, 长沙 410004

3 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520

摘要: 生态系统服务是保障农村经济可持续发展和生态环境健康的重要基础, 农村社区作为乡村社会经济的基本构成单位以及小尺度复合生态系统, 其经济活动将直接扰动自然生态系统服务。南方丘陵山地是我国重要的生态屏障带, 生态保护意义重大。以该地带重要生态功能区的广东乐昌市的 8 个地形地貌相似、但发展存有较大差异的乡村为研究对象, 利用遥感影像和实地调查数据, 综合分析各村土地利用及经济发展状况; 基于国际通用生态系统服务分类标准和评估方法, 构建乡村生态系统服务指标体系, 对各村生态系统服务进行价值评估, 并探讨生态系统服务与农村社区协同发展的典型模式。研究表明: (1) 从生态服务功能总价值来看, 浆源村最高, 为 16585.173 万元/a, 前村次之, 为 13152.621 万元/a, 车头园村最低, 为 1611.611 万元/a; 单位面积生态系统服务价值量总体呈相似的格局, 但局部略有差异。前村、上丛村较高, 分别为 8.739 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 、8.080 万元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 。(2) 土地利用以及经济发展方式的差异, 影响了生态系统服务的保持、维护及利用, 各村农户经济收入与从生态系统服务获得的福利, 以及乡村生态系统服务价值与经济发展水平呈现不均衡的特征。(3) 基于发展基础、生态条件等, 适度发展乡村特色种植和生态旅游等低影响经济发展模式, 有利于降低对生态系统服务, 尤其是调节、支持类等功能的影响, 并促进生态系统服务非商业价值向商业价值转变, 提升乡村经济发展水平。研究结果以期为维护重点生态功能区的生态安全, 优化乡村经济结构与发展模式, 推进生态服务功能提升及农村社区协同发展提供参考。

关键词: 生态系统服务价值; 经济发展模式; 乡村尺度; 协同发展; 南方丘陵山地

Cooperative development model of ecosystem services and rural communities in hilly-mountain of Southern China: a case study of eight villages in Lechang, Guandong Province

XIONG Ying^{1,2,*}, SUN Weijun¹, WEI Xiao², HE Jiexu¹, ZHAO Dandan², SUN Bing³, CHEN Lei³

1 Research Center of Resource Environment and Urban Planning, Changsha 410114, China

2 Hunan Institute of Economic Geography, Changsha 410004, China

3 Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China

Abstract: Ecosystem services are an important basis for ensuring the sustainable development of rural economy and environmental health. The rural communities, which act as the basic socio-economic units and are typical compound social-

基金项目: 国家重点研发项目 (2017YFC0505606)

收稿日期: 2019-11-14; 修订日期: 2020-03-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: csustxy@126.com

economic-natural ecosystems, are facing the challenges of urbanization and rapid development, and the economic activities of rural communities will directly disturb the natural ecosystem services. Eight adjacent villages in the Lechang, Guangdong Province, which had similar natural surroundings but different development models, were considered for this study. Using remote sensing data and survey data, the land use and economic development of villages were analyzed. The Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) and other proven evaluation methods were used to assess the values of 15 classes of ecosystem service functions and/or products belonging to nine categories in rural ecosystems. We explored the typical mode of ecosystem service and rural community coordinated development. The results showed that (1) from the perspective of the total value of ecological service function, Jiangyuan village had the largest ecosystem service values (ESV) at RMB 16585.173×10^4 yuan/a; Qiancun village had the second largest ESV at 13152.621×10^4 yuan/a; and Chetouyuan had the lowest ESV at 1611.611×10^4 yuan/a. There was a similar unit area pattern for ESV among the eight villages in general, but slightly different in some parts. Qiancun village and Shangcong village were higher, with 8.739×10^4 yuan and 8.080×10^4 yuan respectively. (2) The differences in land use and economic development mode affected the conservation and utilization of ecosystem services, the farmers economic income, and the benefits from ecosystem services. Therefore, the rural ecosystem services and the level of social and economic development showed the unbalanced characteristics. (3) Based on the development basis and ecological conditions, the moderate development of low impact economic development models such as rural characteristic planting and eco-tourism were conducive to reducing the impact on ecosystem services, especially regulating and supporting functions, promoting the transformation of non-commercial value of ecosystem services to commercial value, and improving rural economic income. The results were expected to provide reference for maintaining the ecological security of key ecological functional areas, optimizing the rural economic structure and development mode, promoting the improvement of ecological service function and the coordinated development of rural communities.

Key Words: ecosystem service values; economic development model; village scale; cooperative development; hilly-mountain of southern China

生态系统服务是生态系统为人类生存与发展所提供的自然本底条件和功能^[1],是人类从生态系统中获取的各种产品和惠益^[2]。生态系统向人类社会提供持续发展所必需的资源和服务,人类对其保持持续的需求和消费,供需双方共同构建生态服务从自然生态系统流向人类社会系统的动态过程^[3]。行政村是农村社区社会经济的基本构成单位和典型的自然社会经济复合生态系统,生态系统服务是保障农村经济可持续发展和环境健康的重要前提和基础^[4-6],产业活动是生态系统服务变化的主要驱动力^[7,8]。随着农村城镇化快速推进,经济活动不断加剧,重点生态功能区的生态系统服务受到一定程度的扰动。在实施乡村振兴战略背景下,如何协调好生态服务功能提升与农村社区之间的关系,探讨生态系统服务与农村社区协同发展模式具有重要的研究意义与实践价值,有助于乡村振兴战略与乡村生态文明建设的双重推进^[9]。

生态系统服务直接关系到人类福祉,20 世纪 90 年代以来,以币值形式评估生态服务价值成为学术界广泛关注的热点^[10-12]。联合国千年生态系统评估计划将生态系统服务功能划分为供给、调节、支持和文化 4 类服务,为该研究确定了理论内涵框架^[3],同时众多学者在生态系统服务模型改进、个案研究和单功能评估等领域积极探索^[13-16]。近年来,我国在生态系统服务领域的研究广度、深度取得长足进展。从研究内容来看,主要集中在生态服务理论评述^[17]、价值评估^[18]、生态系统服务与土地利用的关联^[19]、功能形成与影响机制^[20]、空间制图^[21]、基于生态服务价值的生态安全格局演变^[22]等。在研究方法上,主要有经济币值法、专家经验判别、模型模拟法等。如谢高地等^[23]在原有评估体系基础上,针对 Costanza 估计方法存在耕地的生态服务价值单价被低估,调节、支持服务价值难以简单用货币衡量等缺陷,提出了基于专家经验的生态服务价值评估法;连喜红等^[24]利用 InVEST 模型对青海湖流域年产水量、水质净化等五类生态服务价值进行测度等。从

研究尺度与类型来看,主要以流域^[25-27]、生态脆弱敏感区^[28-29]、城镇用地变化剧烈地区^[30-31]等大中尺度为主。随着城镇化的快速推进,传统农村正经历剧变,其地地矛盾、人类活动对生态环境影响等问题显现,国内外学者开始关注生态系统服务与农村协同发展。如 Yang 等^[32]从心理感知角度辨析了延河流域农村与城市居民对生态系统服务的社会文化评价差异,筛选出水净化、空气净化和文化价值等评价指标;Smith 等^[33]评估了莫桑比克农村经济开发背景下,土地利用集约化对生态系统服务及居民福祉的影响,提出重视商品作物引种,促进农业集约化、可持续化,提升农村市场包容性的协同发展策略等。总的来看,生态系统服务研究取得了丰硕成果,但研究尺度较多关注大中尺度,而对于乡村小尺度研究较少。虽然近年来农村区域的生态系统服务相关研究不断增加,但主要涉及社会文化、土地利用和景观功能区划等视角^[34],生态系统服务与社会福祉关系的研究主要集中在如何将生态系统服务应用于资源利用、生物多样性保护、区域可持续发展等方面^[10],对生态系统服务价值保护与利用及其与农村社区协同发展的研究不多。本文以南方丘陵山地重点生态功能区的农村社区为研究对象,探究生态系统服务与经济发展、居民福祉之间的相互作用,为重点生态功能区的生态系统安全、服务功能提升及乡村可持续发展提供依据,为乡村振兴与生态文明建设深度融合提供参考。

南方丘陵山地带是我国“两屏三带”生态安全屏障骨架的重要组成部分,范围涉及江西、湖南、广东、广西、贵州和云南 6 省市区,该区是长江流域与珠江流域的分水岭及源头区,对两流域的主体功能的发挥有至关重要的作用^[35]。本文选取地处该地带重点生态功能区的广东省乐昌市的 8 个地形地貌相似、但发展存有较大差异的乡村为研究对象。研究区在生物多样性保护、水源涵养功能等方面具有重要地位^[36],是广东乃至全国重要的生态保护区、水源涵养区、生态环境敏感区,又是经济欠发达地区、少数民族聚集地区^[37]。该区林业资源丰富,森林覆盖率高,其良好的生态环境对维护和保持区域生态服务功能至关重要。本文利用遥感影像和实地调查数据,综合分析了各村土地利用结构和产业结构,结合生态系统服务分类标准与乡村小尺度特征,对其生态系统服务价值进行了评估,分析了生态服务商业和非商业价值等情况,揭示当地经济发展与生态服务功能价值之间的关系,探讨生态系统服务与农村社区协同发展模式,以期乡村尺度下基于生态系统服务的生态系统管理决策,促进生态系统服务价值保育及乡村可持续发展提供参考。

1 研究区域概况

研究区域选取粤北乐昌市的浆源村、茶料村、前村、上从村、三溪村、车头园村、沙田村和石下村,8 个行政村地处 112°87′—113°49′E、25°18′—25°35′N(图 1)。该区属中亚热带季风气候区,水热条件优良,年均温为 20℃,年均降雨量 1500 mm。地形以山地丘陵为主,土壤平均厚度 30 cm。主要树种有杉木、枫树、毛竹、山桃、山楂、马尾松、柏榆、槐树、樟树等,主要经济作物有马蹄、茶叶、奈李、香芋等。

建国初,8 个村主要以林业为主,农户主要收入来源于伐木、种植等。20 世纪 90 年代以来,当地实施一系列生态保护措施,严格执行封山育林,控制林木砍伐量,促使乡村产业转型,当地引种茶叶、马蹄、奈梨等特色作物,种植业逐渐成为该地区主导产业。前村、上从村依托便捷的区位条件及地形相对平坦的优势,积极发展特色种植,马蹄、香芋等经济作物极具规模,同时现代观光农业等发展迅速。茶料、浆源两村,依托经济作物奈梨、茶叶种植,探索开发乡村旅游,配套餐饮、民宿等服务业日趋发展。三溪村、车头园村积极探索林果种植业以及特色养殖,其发展初具规模。沙田村、石下村地处核心林区,当地实行严格的生态公益林保护政策,退耕还林、封山育林并举,区内生态服务功能显著改善,但也出现劳动力流失、产业转型发展缓慢等问题。8 个村的基本情况如表 1 所示。

2 研究方法与数据来源

2.1 社会经济和土地利用

(1) 产业结构与收入状况

产业结构、经济收入情况主要通过实地调查、访谈等方式获取。包括各村用地结构、主营经济类型及劳动

人口、人均年收入等。通过入户访谈和农户问卷获得生态服务价值种类、数量和农作物的种植面积、单产、价格等。

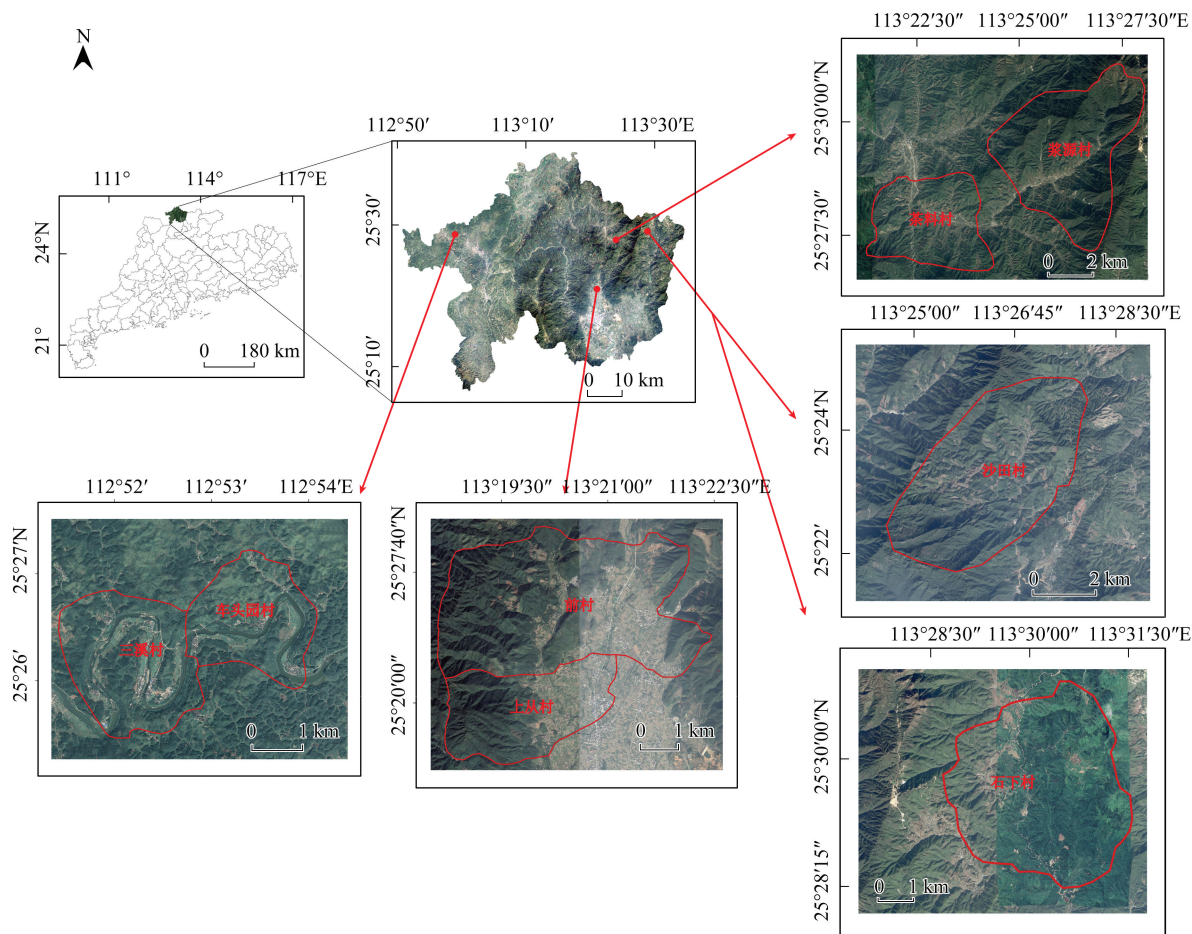


图 1 研究区域位置示意图
Fig.1 The location of the study area

表 1 8 个村基本概况表
Table 1 Basic information of the eight villages

村庄 Villages	所属乡镇 Town	地形 Topography	村域面积/hm ² Area of village	户籍人口/人 Registered population
茶料村	九峰镇	低山	1582.76	2488
前村	北乡镇	丘陵	1504.99	2459
沙田村	五山镇	低山	2055.20	1335
石下村	五山镇	低山	1724.53	2705
上丛村	北乡镇	丘陵	614.67	2061
车头园村	三溪镇	丘陵	325.64	1987
浆源村	九峰镇	低山	2681.51	1985
三溪村	三溪镇	丘陵	420.40	1337

(2) 土地利用分类

考虑到研究对象为小尺度的乡村区域,且山区地势起伏大、林地覆盖率高、地物复杂的现实情况,土地利用分类采用影像解译和实地调查交叉验证的方式进行。利用 ENVI 5.3 对 Landsat 遥感影像进行大气校正、影

像裁剪等预处理,并结合 Google Earth 图像使用监督分类方法中的 SVM 对研究区土地类型进行解译,经验证 Kappa 系数达到 0.85 以上,总体精度为 95.32%。由于受各村精确边界数据获取受限的影响,本文通过实地调研和谷歌地图信息确定各村范围,总体上可靠。基于土地利用分类标准(GB/T 21010—2017)的一级用地分类标准对研究区用地类型及面积进行细分统计;以影像解译结果为基础,结合调研访谈获取的土地利用统计数据,将卫星影像难以判别的利用类型(如商服用地与居住用地等)进行了用地分类数据修正和归类统计。

2.2 生态系统服务评价指标选取

生态系统服务是人类社会从生态系统中取得的收益^[38],即通过将直接影响人类生活的供给、调节和文化等生态服务传递到人类社会,提高人类福祉。近年来,生态系统服务相关研究已进行了广泛探索^[39-43],但科学评估生态系统服务价值,在评价方法、指标选取等方面仍存有分歧^[44-46]。

当前生态系统服务评价指标主要依据国际通用生态服务分类体系(供给、支持、调节和文化),并结合流域、湿地、森林、草原、农田、区域(城市)等各类典型生态系统特点,形成了各具特色的评价体系。如流域生态服务价值评价指标重点包括水土保持、水源涵养、防风固沙等指标^[25],湖泊生态服务价值评估指标有洪水调蓄、地表水资源调蓄等^[47],森林山地生态服务价值评估指标有固碳释氧、林木积累营养物质、保育土壤等^[48]。乡村特别是行政村作为一个小尺度复合生态系统,其生态系统服务价值类型多样,内部和外部影响因素复杂^[49]。因此,应根据乡村尺度生态系统的结构特征和空间属性,以及独特的景观生态与社会经济特点构建生态系统服务价值评价指标。由于生态系统服务在不同尺度上,其利益相关方可能不尽相同,且重要性也存在一定的差异。在生态系统服务的评价中,需要分析不同尺度生态系统服务功能的相互关系。一般而言,生态系统产品提供功能往往与当地居民的利益更密切,调节功能和支持功能通常在区域、全国,甚至全球尺度的人类利益相关^[50]。鉴于此,在乡村尺度的指标选取中,既要考虑区域大尺度的生态系统服务功能价值类型(气体调节、水文调节、水源涵养、净化环境、生物多样性保护等),又要考虑对乡村小尺度具有重要供给、支持、文化功能的价值类型(生物质产品、娱乐游憩、小气候调节、土壤保育等)。如小气候调节,对本地居民福祉非常重要,但在大尺度评估中很少提及,因此用小气候调节指标取代了大中尺度评估中的气候调节指标^[51]。乡村经济活动以种植业为主,产业类型较单一,生物质产品需紧密结合农村经济对土地资源的重点需求进行评估。本文参考国内外学者的研究成果^[2,51-53],选取提供生物质产品、气候调节、生物多样性保护、文化娱乐等 9 大类 15 种生态系统产品和服务功能作为测度指标。同时,在评价内容中对乡村地域特有的价值予以列入,如生态农业观光、生态旅游、民宿民俗活动等。评估体系如表 2 所示。

2.3 生态系统服务价值评估方法

生态系统的服务功能依赖在不同空间和时间尺度上的生态与地理系统过程^[54],生态系统服务具有强烈的空间尺度特征^[55],因此其评估模型及其相关参数和经验值的取值也表现出一定的空间尺度特征。如大尺度评估一般使用分辨率较小的数据、遥感成果或典型生态系统的经验值^[2,40,56],而对于乡村小尺度评估,由于文化背景以及生态服务对经济收入或人居环境的影响,使其利益相关方在不同尺度上对生态系统服务价值认识产生差异。如小尺度空间生态系统的变化对区域某些福利造成的影响可能较小(如局地森林砍伐对当地水源的影响),但在较大尺度上,该变化将产生重要的影响^[50],因此乡村小尺度评估相关参数的取值也较大尺度有不同。在参考相关研究成果^[48,51,57-64]的基础上,本文采用调查、实测以及类似生态系统经验值的方法确定相关参数值。如对耕地、园地等产生的生物质产品类型、产量、价格采用了对各村农户走访获取的平均值,对森林林木蓄积量和年增长率以同类森林类型统计值替代等^[51]。各项生态系统服务价值的内容、类别、计算公式及释义如表 3 所示。根据乡村尺度研究的需要,对部分参数取值、测算公式结合实地调查、访谈予以适当调整,以使测算结果更符合实际。

2.4 数据来源

本研究所用数据分为遥感影像和实地社会调查成果两部分。遥感影像来源于美国地质调查局(USGS)、地理空间数据云和 Google Earth,包括 2018/2019 年 Landsat 8 OLI 影像和 Google Earth 高清影像。其中

Landsat 影像由行列号分别为 122/42、123/43、122/43 和 123/42 的云量低于 10% 的四幅影像镶嵌合成而来,可以覆盖整个研究区域。社会调查成果分为调查问卷和基础资料汇编,以 2018 年为基准。2019 年 5 月对研究区 8 个村开展了实地调查,共有效采集村委会调查问卷 8 份,村民问卷 400 份。村委会问卷由对重点村干部访谈获得,包含该村土地利用现状、常住人口结构、村民收入和受教育情况、集体经济和产业结构以及村庄基础设施等信息;村民问卷是按各村人口比例进行抽样调查,涉及经济状况、家庭状况、用地(耕地、园地、林地等)状况、住房及基础设施条件等方面,以此作为村委会问卷的内容补充和验证;基础资料来源于从当地乡镇政府获取的村庄土地利用规划、人口统计、经济发展状况统计等数据。因受资料获取的影响,科研价值(研发单位、机构在当地投入的各项研发经费)未统计计算。

表 2 乡村尺度生态系统服务价值评估指标框架
Table 2 The indicator framework of ecosystem service valuation at village scale

生态服务类型 Ecosystem service category	生态产品/服务功能 Ecosystem products/functions	内容 Specifics	具体释义 Remarks	商业化属性 Marketization
供给服务 Supply services	01 提供生物质产品	活立木及林木产品	林木蓄积年增长量	是
		食物及生产生活资源	耕地、园地、水域等提供粮食、蔬菜、水果、水产品等的数量	是
调节服务 Regulation services	02 气体调节	吸收 CO ₂	固碳释氧,实现调节大气组分的效益	非
		释放 O ₂	释氧,实现调节大气组分的效益	非
		吸收 SO ₂	生态系统对大气污染物(如二氧化硫、氮氧化物等)的吸收、过滤、阻隔和分解的效益	非
		滞留粉尘	滞留、吸附空气粉尘	非
	03 气候调节	调节小气候	生态系统对于当地气候的吸热、降温、增湿的作用,包含植物蒸腾、水面蒸发两种服务功能	非
支持服务 Support services	04 水文调节	水源涵养、调节水量	生态系统调蓄水源总量	非
	05 土壤保育保持	保持土壤肥力	通过减少土壤侵蚀保持当地的土壤肥力和减少泥沙淤积	非
		减少泥沙淤积	减少泥沙淤积	非
	06 净化环境	固体废弃物分解	生态系统降解的固体废弃物量	非
		生活污水净化	生态系统净化当地居民的生活污水量	非
文化服务 Culture services	07 生物多样性维护与保护	维持生物多样性	提供生物栖息地、生物化学循环等功能,属于支持类服务	非
	08 娱乐游憩	生态旅游	当地生态旅游、生态农业(庄)观光、生态民宿等活动的收入	是
	09 科研教育	科研价值	研发单位或机构在当地的研发经费投入	是

3 结果与分析

3.1 土地利用及产业结构特点

3.1.1 土地利用结构特点

8 个村自然条件和地形地貌相似,但用地结构差异明显。8 个村土地利用空间分布及类型组成如图 2 所示。从图可知,浆源村在 8 个村中总面积最大,其中林地所占数量最多,耕地、园地有一定数量的分布;沙田村、石下村总面积居第二、第三位,两村林地多,且大多为生态公益林,但耕地和园地少;茶料村总面积居第四,

表 3 各项生态系统服务价值计算方法^[51]
Table 3 Calculation method of value of each ecosystem service

生态系统服务类型 Value category	生态系统服务 产品/功能 Ecosystem products/ functions	计算公式 Formulas	主要参数 Parameter	参数取值/ 参考文献 Parameter value/ References
01 提供生物质产品 Provisioning	蓄积木材	$V_t = (A_c \times S_c \times A_b \times S_b \times A_m \times S_m) \times P_l \times G_r$	A_c, A_b, A_m 分别为针叶林、阔叶林、针阔混交林的面积; S_b, S_m 分别为单位面积针叶林、阔叶林、针阔混交林蓄积活立木的量; G_r 为活立木年增长率; P_l 为原木价格	G_r 按照 6% 计算; [2, 51]
	提供生物质产品	$V_p = Q - P$	V_p 为生态系统提供的生物质产品的价值; Q 为该生态系统的总产值, P 为成本	
	吸收 CO ₂	$A = M \times 1.63 \times (12/44) \times PC$	A 为生态系统固定 CO ₂ 的价值; M 为生态系统生物量增长量; PC 为碳排放单价	PC 按照瑞典碳税率 150 美元/计算汇率, 按照 1 美元 = 6 元人民币; [2, 18, 35, 64] P 为 0.4 元/kg; [58, 63]
02 气体调节 Gas regulation	释放 O ₂	$A = M \times 1.20 \times P$	A 为生态系统固定 CO ₂ 的价值; M 为生态系统生物量增长量; P 为工业制氧单价	
	吸收 SO ₂	$V_m = \sum M_i \times W_1$	V_m 为生态系统对 SO ₂ 吸收价值总量; M_i 为生态系统年吸收 SO ₂ 量; W_1 为我国治理 SO ₂ 排放的平均费用	W_1 按照 0.6 元/kg 计算; [59]
	滞留粉尘	$V_s = \sum S_i \times W_2$	V_s 为生态系统对粉尘滞留价值总量; S_i 为生态系统年滞留粉尘量; W_2 为我国消减粉尘的平均费用	阔叶林的滞尘能力为 10.11 t/hm ² ; [57] W_2 按照 0.17 元/kg 计算; [58]
03 气候调节 Climate regulation	调节小气候	$E_w = S_w \times Q_w \times P_w$	E_w 为生态系统增加降雨量服务价值, S_w 为该生态系统面积, Q_w 为单位面积生态系统增加的降雨量	P_w 按照 5.714 元/m ³ 计算; [60]
		$E_t = T_t \times P_t \times N_p \times D_t$	E_t 为生态系统调节环境温度服务价值, T_t 为生态系统降低环境温度量。 P_t 为居民夏季平均降温成本, N_p 区域内生态系统系统调节环境温度服务享用人数, D_t 为需要降温天数	[58]
		$P_t = S_t \times W_t \times H_t \times A_t$	S_t 为人均住房面积, W_t 为空调降温功率, H_t 为人均使用空调时间, A_t 为研究区域内电价	A_t 按 0.5469 元/kWh 计算; [51]
04 水文调节 Hydrological regulation	水源涵养	$A_s = (\sum S_i \times W_i + W_g) \times P_w$	A_s 为生态系统涵养水源价值总量, S_i 为生态系统的面积, W_i 为生态系统单位面积涵养水量, W_g 为冠层截流量, P_w 为我国水库工程成本单价	P_w 按 5.714 元/m ³ ; [48, 65, 66]
		$W_i = W_{ei} - W_d$	W_{ei} 为生态类型单位面积持水量, W_d 为裸地单位面积持水量	W_{ei} 为 527 t/hm ² , W_d 为 1540.8 t/hm ² ; [48, 51]
		$W_g = Q \times R$	W_g 为冠层截流量, Q 为区域内年平均降雨量, R 为森林冠层截流系数	[51]

续表

生态系统服务类型 Value category	生态系统服务 产品/功能 Ecosystem products/ functions	计算公式 Formulas	主要参数 Parameter	参数取值/ 参考文献 Parameter value/ References
05 土壤保育保持 Soil conservation	土壤形成与保护	$A_c = A_p - A_r$	A_c 为减少土壤侵蚀量, A_p 为潜在土壤侵蚀量, A_r 为现实土壤侵蚀量	
		$A_p = D \times M1$	D 为区域面积, $M1$ 为荒地侵蚀模数	$M1$ 取 $60.75 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ [18]
		$A_r = D \times M_0$	M_0 为当前植被覆盖下实际侵蚀模数	M_0 取值为阔叶林 $2.80 \text{ t hm}^2 \text{ a}^{-1}$ [51, 58]
		$ES = \sum A_c \times C_i \times P_i$	E_i 为保护土壤肥力价值, A_c 为生态系统减少土壤侵蚀量, C_i 为第 i 类营养物质在土壤中含量, P_i 为第 i 类营养物质单价	[51, 59]
	减少泥沙淤积	$E_a = 0.24 \times A_c \times C_a / \rho$	E_a 为减少泥沙淤积价值, A_c 同上, C_a 为水库工程费用, ρ 为泥沙的容重值	C_a 为 5.714 元/m^3 , ρ 为 1.20 t/m^3 ; [51, 58]
06 净化环境 Purify environment	分解固体废物	$V = \text{SEP} \times P \times M$	V 为生态系统处理废弃物价值, SEP 为人均年产生固体垃圾量, P 为视同秦越内人口总数, M 为全国固体垃圾处理平均单价	SEP 为 1.7 kg/d ; [61]
	净化生活污水	$S = V_s \times P_s$	S 为生活污水净化价值, V_s 为生活污水排放量, P_s 为我国生活污水处埋成本	P_s 为 0.61 元/t ; [62]
07 生物多样性保护 Biodiversity conservation	维护生物多样性	$D = \sum A_i \times D_i$	A_i 为生态系统的面积, D_i 为单位面积生态系统支持生物多样性的价值	[60]
08 娱乐游憩 Entertainment and recreation	生态旅游		旅游景点、旅游活动的各项收入之和	
09 科研教育 Science and education	科研价值		研发单位或机构在当地投入的各项研发经费之和	

其中园地是 8 个村中最多的,大规模种植茶叶是该村土地利用最大的特点;前村总面积位居第五,其耕地面积在 8 个村中是最多的。近年来,结合特色种植发展农业旅游等,商服用地有所增加;上丛村面积位居第六,除林地分布较多外,其耕地数量也较多,此外该村属北乡镇镇区范围,建设用地面积也较多。三溪村耕地、林地、商服用地均有分布,因位于三溪镇镇区,其中商服用地较多。由于该村地处武江上游,水域及水利设施用地有一定比例分布;车头园村的总面积在 8 个村中最小,但水域及水利设施用地、耕地占比均较高,利于发展种植业。总体来看,8 个村的土地利用类型中林地均所占数量多,用地结构表现为林地主导型,但随着农村经济的发展,土地利用结构有呈多样化的发展趋势。

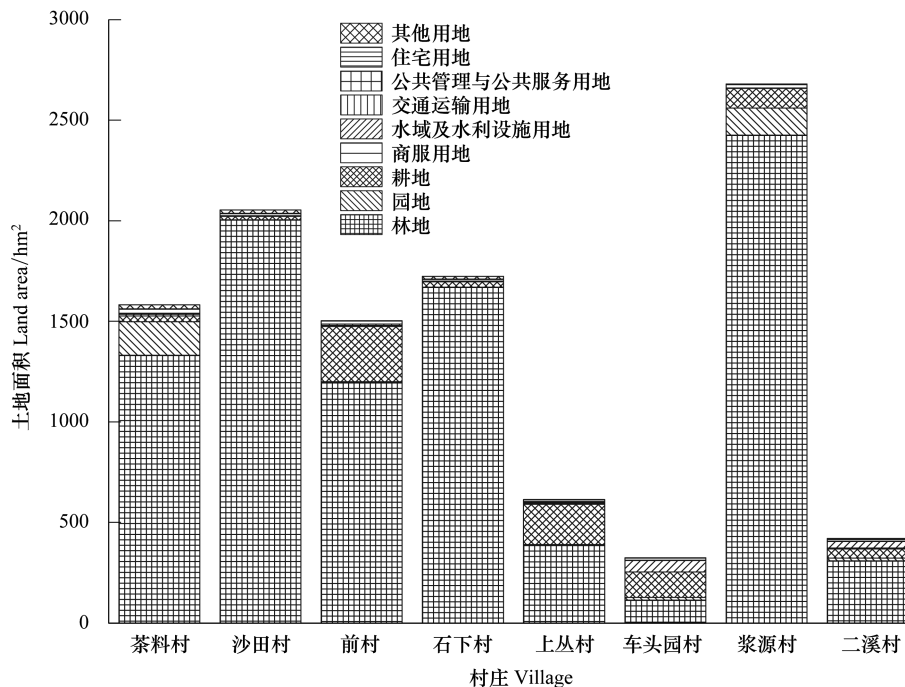


图 2 8 个村土地利用类型组成

Fig.2 Composition of land use types in eight villages

3.1.2 产业结构特点

从产业构成及相应的从业户数来看(图 3),总体可分为两类。一类是从事种植业户数较多的村庄,其主导产业为种植业。茶料村、浆源村主要种植茶叶、黄金奈李、鹰嘴桃、柑橘等。上丛村、前村规模化种植马蹄和香芋,且上丛村因邻近市区,从事商业和外出务工的户数较前村多。前村有少量养殖业户数,主要养殖鸡、鸭等家禽,但规模小;另外,北乡香樟森林公园、九福兰花公园位于前村村域内,该村旅游业和商业有一定数量的从业人员。近年来,茶料村和前村结合特色种植业,积极发展山林景观为特色的生态旅游和特色种植的现代农业生态观光旅游,并为游客提供住宿和餐饮。如当地每年三月、六月举办的“桃花节”、“水果节”等规模较大,吸引了大批游客。另一类是除从事种植业外,从事其他产业的户数接近或超过 50%。如沙田村、石下村地处核心林区,耕地少,种植业占比很低,仅少量种植黄豆、花生、稻谷、玉米、红薯等作物;两村外出务工户数占比较大,是典型的外流务工村。三溪村位于三溪镇的镇区,北接湖南省宜章县,商业有一定的发展,同时也有相当规模务工人口。车头园村土地面积小,地处武江河谷地带,耕地比重接近 50%,脐橙、红柚等经济作物具有一定规模,但外出务工比重高。综上可知,研究区产业结构以种植业为主,旅游业与商业为辅的特点,但总体规模较小,产业结构较单一,第二、三产业发展薄弱。特别是部分村庄在严格的生态管控下,原有经济模式面临显著压力,外出务工人员增多,乡村产业亟待转型。但调查中发现,村民从业也呈现综合性、复合型的趋势特点。

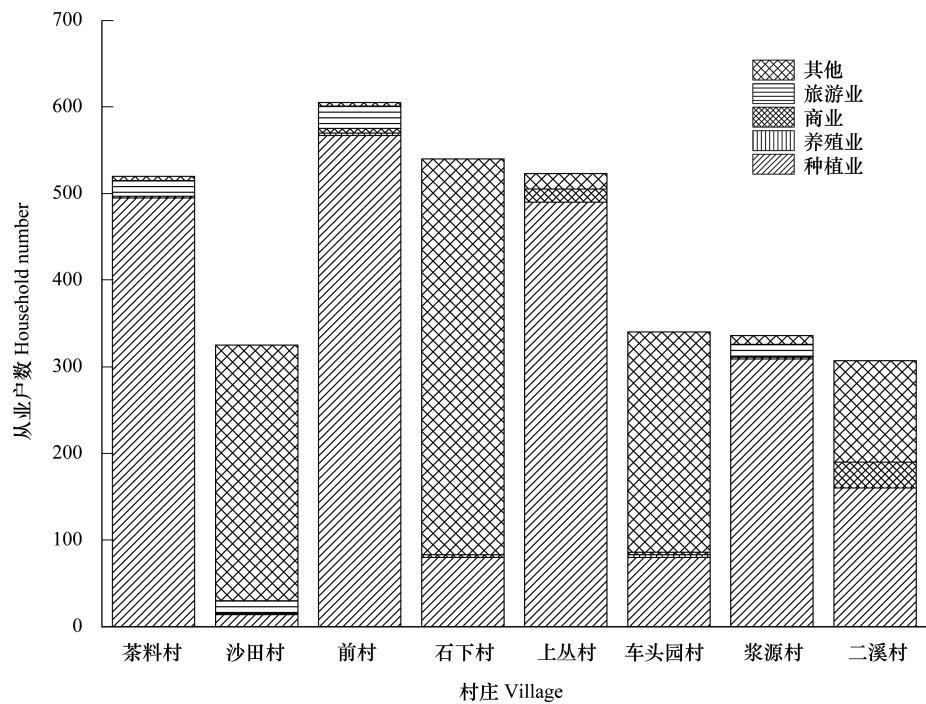


图3 8个村主要产业类型及从业户数

Fig.3 Main industry types and number of households in eight villages

3.2 生态系统服务功能价值评估

根据表2生态系统服务价值评估指标框架,以及表3中的评价计算方法,对各村9大类15项生态系统服务产品或功能的价值进行评估量化。评价结果如下表4所示。

表4 8个村主要类型生态系统服务价值

Table 4 Value of major types of ecosystem services in eight villages

生态系统产品或服务功能 Ecosystem products/functions	生态系统服务价值 Ecosystem service value(×10 ⁴ 元/a)							
	茶料	沙田	前村	石下	上丛	车头园	浆源	三溪
木材蓄积 Lumber accumulation	256.23	333.12	233.03	302.78	76.74	21.38	463.27	64.36
提供生物质产品 Provide biomass products	3406.11	75.32	4684.97	24.76	2602.57	946.29	1795.66	711.10
吸收 CO ₂ Absorbing CO ₂	72.89	94.77	66.29	88.43	21.83	4.94	131.79	18.31
释放 O ₂ Release O ₂	83.83	108.98	76.24	101.69	25.10	5.69	151.56	21.06
吸收 SO ₂ Absorbing SO ₂	13.18	17.14	10.52	29.20	2.86	0.56	22.92	1.69
滞留粉尘 Trapped dust	542.96	705.89	419.77	796.87	107.82	19.99	935.66	54.39
调节小气候 Adjust microclimate	332.71	417.07	304.66	423.60	105.40	34.01	593.87	81.87
涵养水源 Water conservation	1472.80	1914.75	1280.53	1852.90	397.47	86.49	2626.24	305.35
保持土壤肥力 Maintain soil fertility	2865.26	3624.94	3030.94	3018.94	1006.20	231.15	6088.27	607.34
减少泥沙淤积 Reduce sediment deposition	10.31	13.04	10.90	11.70	8.27	2.18	21.90	2.41
固体废弃物分解 Solid waste decomposition	4.24	0.21	8.70	1.55	7.06	1.28	1.81	4.98
生活污水净化 Domestic sewage purification	4.05	0.20	8.32	1.48	6.75	1.23	1.73	4.76
维持生物多样性 Maintaining biodiversity	1936.38	2456.56	1763.67	2045.88	598.69	256.43	3468.62	499.29
生态旅游 Ecotourism	373.20	226.95	1254.09	0.00	0.00	0.00	281.87	0.00
科研价值 Research value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
合计 Total	11374.15	9988.94	13152.63	8699.79	4966.76	1611.62	16585.17	2376.91

因受资料获取的影响,科研价值未统计计算。

3.2.1 总生态服务价值

据表4、图4可知,浆源村生态服务价值最高,为16585.17万元/a,车头园村最少,为1611.61万元/a,两者相差10倍,8个村的生态系统服务价值均值为8791.30万元/a。具体见图4所示。从各村情况来看,浆源村土地面积大,林地数量多,其生态服务价值量大,同时种植特色作物,如黄金奈李等,具有较高的经济价值。前村生态服务总价值居其次(13152.62万元/a),该村耕地数量多,规模化种植马蹄和香芋,其提供生物质产品价值表现突出,同时农业生态旅游发展成效明显,其娱乐游憩服务价值较大。茶料村林地比重较大,同时规模化种植茶叶、奈李等特色作物,并积极发展生态旅游,其生态服务总价值居第三位。沙田村和石下村拥有大面积的林区,有利于提升生态系统的调节气候、涵养水源、保持土壤等能力,生态服务总价值较高。但因两村耕地面积少,其提供生物质产品价值少。三溪村、车头园村的服务功能总价值较低,主要原因是两村面积较小,且生态服务重要的林地、耕地的面积均较少,导致生态系统服务价值总量较低。

3.2.2 单位面积生态系统服务价值

各村单位面积生态系统服务价值测算结果如图5所示。相对于总生态服务价值而言,单位面积生态系统服务价值量总体上有相似的格局,但部分呈现一定的差异分布。其中,前村、上丛村较高,分别为8.739万元 $\text{hm}^{-2}\text{a}^{-1}$ 、8.0808万元 $\text{hm}^{-2}\text{a}^{-1}$ 。究其原因在于,两村林地有一定数量的分布,且耕地占比较高,规模化特色种植提供的生物质产品价值量高,进而导致单位面积生态系统服务价值较高。沙田村、石下村分布有较大面积的生态公益林,单位面积生态系统服务非市场价值量较高,但由于耕地少,提供生物质产品价值较少,进而在一定程度上降低了整个村域单位面积的生态服务价值。

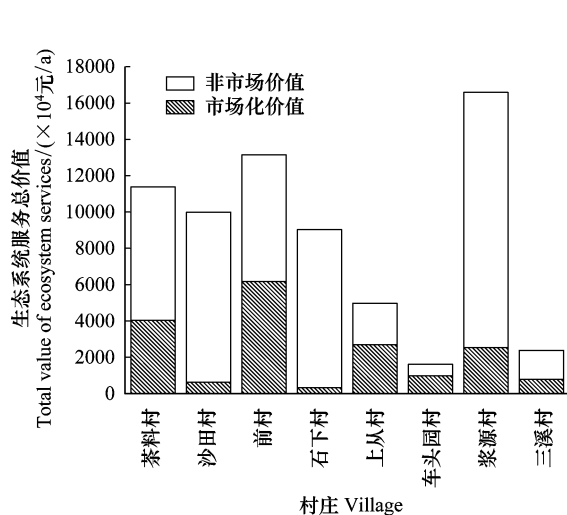


图4 8个村生态系统服务总价值构成

Fig.4 Total value of ecosystem services in eight villages

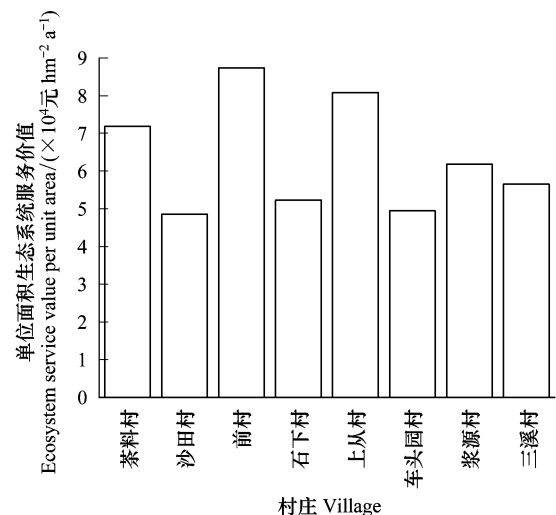


图5 8个村单位面积生态系统服务价值比较

Fig.5 Comparison of ecosystem service value of eight villages per unit area

3.2.3 生态系统服务价值组成

从生态服务价值构成来看(图4),各村生态服务的商业/非商业价值占比虽有所不同,但总体上非商业价值均大于商业价值,比重超过总价值量的50%。究其原因在于,研究区地处南方丘陵山地重点生态功能区的核心区域,近年来有效的生态保护使其生态服务功能(调节气候、涵养水源、净化环境等)得到了较好的维护和提升。需要说明的是,上丛村、车头园村的生态服务商业价值高于非商业价值,原因在于其总面积不大,林地数量不多,但耕地占比高(在8个村中是最多的,达40%左右),通过大量种植有较高收益的经济作物(香芋、黄金奈李、脐橙、红柚等),其提供生物质产品商业价值突出。总的来看,在服务功能层面,非商业价值主要体现在涵养水源、保持土壤肥力、生物多样性维护等能力上,商业价值主要以提供生物质产品为主。林地面

积是影响生态系统服务价值构成的重要因素,有大面积林地的村庄生态系统服务价值非商业价值占比都比较大,且与林地面积成正比,如浆源村、沙田村、石下村等。同时,发展规模化特色种植以及生态旅游对生态系统服务价值构成也有重要影响。如前村、上丛村、茶料村和车头园村等,其“提供生物质产品”等市场化价值量大,占比高。

3.3 经济收入和居民从生态系统服务获得的福利

为了比较各村的经济状况,基于实地调查和生态服务价值评估,统计了 8 个村的人均经济收入和从生态系统服务中获得的福利。结果如图 6、图 7 所示。

总的来看,8 个村的人均年收入差异明显。前村、上丛村、茶料村、浆源村的人均总收入较高,分别为 2.87 万元/a、2.77 万元/a、2.07 万元/a、1.90 万元/a,沙田村、石下村人均年收入较少,分别为 1.18 万元/a、0.82 万元/a。从收入构成上看,种植业收入占比大,其次是外出务工,旅游业、商业等收入较少。前村的人均收入高,这主要得益于该村种植业的收入较高,当地大规模种植的香芋、马蹄等特色农作物,具有较高的经济价值,也带动了当地特色种植(农业)观光旅游等,旅游收入占总收入的 20% 左右;茶料村、浆源村主要依靠种植茶叶、黄金奈李等,给农户带来了可观的收入;上丛村除从特色种植中获得较高的收入外,因靠近镇区和市区,从事商业以及就近务工也有一部分收入。石下村人均收入低,在实施严格的生态保护措施下,其生态服务非商业价值总量高,但林业经济、林下经济发展缓慢,商业转化效率低,同时耕地、园地面积少,种植业收入少,该村农户收入主要靠外出务工;沙田村和石下村同属于五山镇,土地利用类型和产业发展情况相近,人均收入总体较低。由于拥有一些旅游资源(“龙王潭”等景点),当地居民有一定的旅游收入,人均总收入较石下村略高;车头园村近年来通过发展特色水果种植等,人均收入水平提升明显。但由于人多地少,据实地调查,外出务工比例有增加趋势。

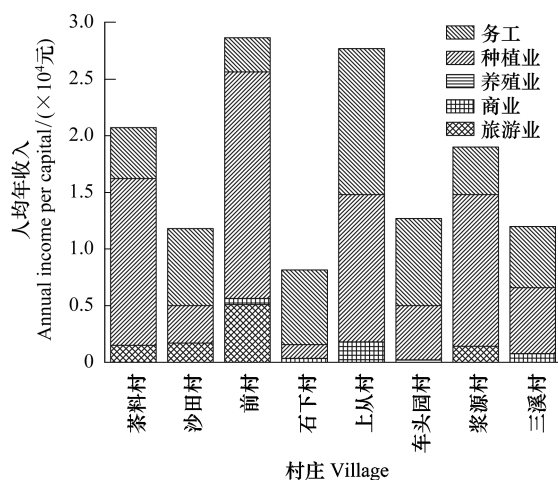


图 6 8 个村人均年收入构成

Fig. 6 Composition of per capita annual income of the eight villages

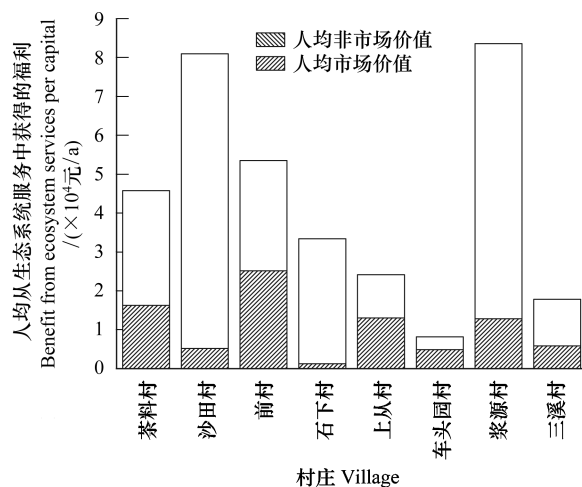


图 7 8 个村人均从生态系统服务中获得的福利构成比较

Fig. 7 Comparison of the composition of benefits received from ecosystem services per capita

在各村居民从生态系统服务获得的福利中,通过发展特色种植业,并积极发展生态农业观光、山林景观生态旅游等,其贡献在人均市场化生态系统服务价值和人均经济收入发挥较重要作用。如前村、上丛村、茶料村、浆源村等获得的生态福利较高。由此可以看出,调整与优化产业结构一方面可以减轻人类活动对生态系统的影响和干扰,维护与保持生态系统服务价值,另一方面也可促进生态系统服务利用效率及转化效率的提高。通过将间接的非市场化生态服务价值转化为直接的市场化服务价值^[51],如将文化服务转化为生态旅游(游憩娱乐)产品,以此促进经济结构的改善,并增加居民的收入。

4 结论与讨论

4.1 经济发展模式与生态系统服务价值的关系

研究表明,经济发展模式与生态系统服务的响应关系具有以下两个特点:①通过优化经济发展模式,以此减轻产业活动对生态系统的压力,同时加强提高生态系统服务价值的市场化利用效率,以及将非市场化调节与支持服务价值转化为游憩娱乐商品,从而提高生态系统服务总价值。如前村、茶料等村的“特色种植+生态旅游”的经济发展模式总体效果较优,促进了生态服务价值提升和农民增收。前村人均收入在8个村中较高,一方面通过因地制宜做大做强特色种植(如香芋、马蹄等),发展高附加值农业项目,特色农业收入不断提高,另一方面积极拓展农业观光、生态旅游的发展,旅游业收入比重由此增加,一定程度上提高了农户的收入。通过产业结构优化调整,土壤保育、水源涵养等生态服务功能得到维护和提升,这种经济发展模式较好地保护和利用了当地的生态环境。②通过调整产业结构提高生态系统服务的非市场化价值。如沙田村、石下村等,林业原为其主导产业,由于严格的生态公益林保护及生态管控的实施,砍伐量持续减少,乡村产业结构由此调整变化,如发展特色养殖、林果经济等,生态系统服务价值涵养量高的林地比重不断增加,促进生态系统服务的非市场化价值持续提升。因此,优化经济发展模式与土地利用结构,减轻人类活动对生态系统的干扰和影响,是提高区域生态系统服务价值,促进生态环境与农村经济协调发展的重要途径^[51]。

总的来看,在经济发展方式上,各村根据自身特点,在生态系统服务保育和利用上形成了差异性的发展模式。前村、茶料等村以特色农林产品种植、生态旅游为经济发展特色,形成第一、三产业复合发展模式,促进生态服务非商业价值向商业化转换,经济发展模式使得当地经济发展水平、农户收入与生态系统服务功能得到“双提升”。沙田村、石下村等实施严格的生态保护工程,生态系统服务非商业价值持续保育和提升。但由于产业转型较慢,并未形成较优的经济发展模式。受产业支撑能力有限的影响,其非市场价值转化为市场价值并进入产业收入效果不显著,农户增收不明显,并出现劳动力外流的现象。这说明这类乡村生态优势未能很好的转化为经济优势,因此加强提高对生态系统服务的利用效率、市场化能力和管理能力,合理利用优良的生态条件促进农村社区的经济发展是当务之急,也是实现乡村经济与生态环境协调持续发展的重要环节^[14-15,66]。同时,加大对这类重点生态功能区域的生态补偿(财政转移支付)力度,是保障农户收益,持续做好生态建设,促进乡村可持续发展的重要举措。

4.2 生态系统服务与农村社区协同发展模式

乡村是小尺度复合生态系统,影响其生态系统服务的内部和外部因素多样复杂^[49],乡村经济与生态保护协同发展体现在两个方面。一是利用生态优势助推经济发展。随着生态文明建设的深入推进,生态服务功能的不断提升,拥有良好的人居生态环境成为共识,农村社区居民自发参与到生态保护之中。依托生态环境优势,积极打造生态旅游业,通过旅游业驱动力将生态服务功能中非商业类的环境调节、产品供给等价值转化为生态旅游商品,进而直接提高生态服务价值的商业化转化效率和农户经济收益。由此可见,依托生态优势,推进“一、三产”种植+旅游的融合发展,并提高生态服务功能的转化效率和商品化水平,从而实现生态服务功能与农村社区经济社会的协同发展。二是以产业优化促进生态服务保育。通过调整产业结构,在着力提升生态系统的供给服务功能同时,优化土地利用结构,增加生态系统服务价值涵养量高的土地利用类型的面积,减轻土地利用的强度,既促进了当地经济发展和农民增收,又有效提高了生态服务功能价值总量。如前村、茶料村等,通过优化种植产业结构,摒弃损耗资源、牺牲环境的经济开发模式,积极打造“桃花节”、“奈梨节”等文化旅游品牌,适度发展生态旅游业,形成“特色林果+生态旅游”和“特色农业+农业观光”等低影响经济发展模式。产业优化促进生态保育,即农村社区通过因地制宜发展特色种植业和生态旅游业,以产业结构优化调整推动生态服务功能的维护与保护,提升生态系统服务总价值,从而促进生态环境的保护与农村区域的发展。

但值得关注的是,部分农村地处重点生态功能区的核心区,在实行严格的生态保护措施下,生态服务功能非商业价值提升较大,但农村经济发展滞后,且当地居民部分林业收入(如伐木收入等)减少。近年来,重点

生态功能区和重要生态屏障带的生态补偿持续推进,因此应充分利用重点生态功能区转移支付财政政策,保障农户收入。同时地方也需配套专项资金及相关扶持机制,如提供特色种植、养殖等技术培训,提供护林岗位等,帮助农户改善收入来源结构。同时,还应加快培育新的替代产业,优化产业结构,充分利用各种资源,深入推进林果种植、林下经济、林产品加工以及森林生态旅游等复合生态产业的构建,发展林区立体经营模式。通过发展林下经济以及山林景观为特色的生态旅游等,加快生态系统服务非商业价值向商业价值的转变,促进农民收入增加,改善居民福利,提升区域可持续发展能力。

基于上述分析,实现区域生态系统服务功能提升与农村社区协同发展,在制度保障层面,要加强完善重点生态功能区的生态补偿制度,加大财政转移支付力度,在产业转型层面,要加大探索推行低影响产业发展模式,有效降低对生态系统服务,尤其是调节、支持类等功能的不利影响,实现生态系统服务提升与农村社区协同发展,促进农村社区生态文明建设与乡村振兴战略深度融合。结合 8 个典型村的研究,以及实地生态服务的需求调查,提出以下三种发展模式:

①特色林果经济+乡村民俗文化+森林生态旅游+山地丘陵水土保持涵养功能提升发展模式。该模式适用于茶料村、浆源村、三溪村等为代表的山地丘陵农村社区,该类村庄林地、耕地面积较为可观,且具备良好的水利灌溉条件,水土保持和水源涵养是该地区重要的生态功能;该模式也适用于丘陵地区园地较多的乡村,有较好的果树、茶叶等种植资源基础,并具备良好的交通区位条件、稳定的劳动力资源。应加强提高特色林果等产品的品质,打造具有地域特点的地理标志产品,提升产品知名度与产品效益。同时,加大利用优美的山水景观、森林资源以及特色林果种植、少数民族(民俗)风情等,重点发展生态观光、休闲度假、节庆旅游等专项旅游产品,鼓励农户发展民宿、生态农庄等经营活动,提高居民在旅游业的参与度,增加农户经济收入。

②特色农产品种植+农产品加工+生态农业文旅观光+低山丘陵土壤保育与生物质功能提升发展模式。该模式适用于以前村、上从村等为代表的低山丘陵农村社区,该类村庄地势较为平坦,邻近城区或镇区,其区位及交通条件良好,且耕地数量较多,特色农产品规模化种植;应大力发展农产品精深加工,加强农产品加工工业的引入与发展,优化生产组织模式,依托特色农产品生产基地,培育和壮大加工型龙头企业和合作组织,延伸加工产业链,提升农产品附加值;加大基础设施的投入建设,创新农产品流通模式,强化电商平台以构建便捷的农产品流通体系,推动农业特色化和产业化发展;通过提升现代农业文旅产品的设计和质量水平,做大做强生态农业观光体验式旅游业。

③特色林下经济+林竹产品初加工+森林生态旅游+山地公益林生态功能提升发展模式。该模式可应用于以沙田村、石下村等为代表的乡村,该类村庄受林业生态保护的影响,原有经济结构由此变化,由于产业转型缓慢或不优,经济发展滞后,农户人均收入偏低,农村空心化严重。应加大通过生态补偿财政转移支付、提供部分护林岗位等,保障农户收入,持续有效保护林地生态功能;充分利用林业资源优势,发展特色林果经济、林下经济(中药、菌类种植等),积极拓展林产品加工等产业发展。加快建设以毛竹(散生竹)为主、丛生竹为辅,材用竹、笋用竹和笋材两用竹并举的竹木产业基地,并培育生产特色名贵树木等^[67]。依托林业生态资源,积极发展森林生态旅游,打造康养休闲生态产业,吸引劳动力及人口回流,促进生态系统服务良性循环利用与保护以及乡村可持续发展。

4.3 展望

本文以南方丘陵山地重要生态功能区的粤北乐昌市的 8 个地形地貌相似、但发展存有较大差异的 8 个村为研究对象,分析了各村土地利用特征和产业发展状况,评估其生态系统服务价值,并探究生态系统服务与经济发展之间的关系及其与农村社区协同发展的典型模式。研究表明,通过优化调整产业结构可以提高生态系统服务功能的市场化利用效率、商品化水平,并影响土地利用方式、类型和开发强度,提高生态系统服务价值以及对农村经济社会发展的贡献。本文选取南方丘陵山地乡村尺度开展生态系统服务与土地利用、经济发展的关系研究,探讨了经济发展模式对生态系统服务价值利用与保护的影响,以及生态系统服务的响应差异,可为深入研究小尺度生态系统服务受经济发展模式和土地利用变化的影响机理提供思路与案例,为优化乡村产业

结构与布局,促进乡村振兴战略实施下生态系统服务提升与农村社区协同发展提供参考。

生态系统服务从提出到发展丰富,其评价形式包括物质量评价、价值量评价、能值分析评价以及上述多种方式结合的评价等。生态系统服务评价的根本目的是要保持和改善生态系统提供物质量的服务能力,进而促进和保障可持续发展^[68]。但生态系统服务物质量评价和价值量评价的目的、应用场合是有一定差别的,对某一生态系统分别进行物质量评价和价值量评价,其评价结论往往会产生差异,甚至是相互矛盾^[69]。因此,采用不同的评价形式或方法,其结果会有所不同。由于各种类型的生态系统服务其功能与作用不尽相同,具有不可替代性,同时各类服务之间存在相互影响、相互关联的特征,在生态服务价值量评价中对于各种服务之间的关联性和不可替代性可能未予以完全反映或考虑。另外,在生态系统服务价值量核算中,其市场价值往往受供求关系的影响较大,而生态系统服务的非市场价值总体上是潜在的,一般不通过市场实现。因此,评估中可能存在重复评估、评估不全面或不够精准等风险,对价值评估的精确性均产生一定的影响。

当前,大中尺度生态系统服务价值评估理论体系及方法已较完善,且实证研究丰富,而对于乡村小尺度的评估,由于其空间的复杂性和人地关系的特殊性,其生态系统服务的评估方法及实证仍需要加强探索与完善。本文基于前人研究成果,并结合研究区域的实地调查,开展乡村尺度的生态系统服务价值评价是一次有益的探索。但受研究方法、数据获取、参数取值等因素的限制,在一定程度上影响生态系统服务价值评价结果的精确度。如乡村尺度生态系统服务产品/功能指标可能不尽全面、针对性有待加强;部分参数取值来源于村干部、村民的调查访谈,受人为因素的影响较大,涉及经济收入等敏感指标可能有所保留;一些参数未能紧密结合南方丘陵山地或南岭地域予以选取参照;林木经济收益除受木材蓄积量影响外,还受采伐指标的限制;土地利用数据、经济数据等应结合农村土地确权、土地流转、林权等,林业数据还应细分树种及林分结构等。另外,本文仅在静态的时间节点上,对各村生态系统服务价值进行估算,而单一时间点并不能完全反映生态系统服务贡献、福利以及供需状况;同时,采用经济评价方法,其相关因子受市场、政策等影响较大,探讨生态系统服务与区域社会经济的协同发展,应从长时间序列上对各类生态服务价值(物质量)予以分析,以此反映生态系统服务能力的变化态势,探寻两者之间的响应变化。因此,优化完善小尺度生态系统服务价值评估方法,加强结合实地观测、实验监测和模型分析,提高生态系统服务价值评估的客观性、精确度及其结果的实用性、应用性是后续有待加深的研究方向。此外,调查中发现,大部分村民从业呈现综合性特点,加强探讨从业内部差异性及其与经济发展、生态系统服务保护与利用之间的关系,深入研究生态系统服务与乡村发展影响机制,合理调整土地利用结构与产业结构以及如何持续地将生态系统服务价值转化为市场价值,进一步挖掘与提炼协同发展模式等,还有待更深入的研究,以此为农村经济产业规划与生态系统管理及生态服务功能的保育和提升提供科学依据。

参考文献(References):

- [1] Daily G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, DC: Island Press, 1997.
- [2] Costanza R, d'Arge R, de Groot 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.
- [3] 马琳, 刘浩, 彭建, 吴健生. 生态系统服务供给和需求研究进展. *地理学报*, 2017, 72(7): 1277-1289.
- [4] 崔和瑞. 基于循环经济理论的区域农业可持续发展模式研究. *农业现代化研究*, 2004, 25(2): 94-98.
- [5] Gutman P. Ecosystem services: foundations for a new rural-urban compact. *Ecological Economics*, 2007, 62(3/4): 383-387.
- [6] Salvati L, Carlucci M. The economic and environmental performances of rural districts in Italy: are competitiveness and sustainability compatible targets? *Ecological Economics*, 2011, 70(12): 2446-2453.
- [7] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 欧阳志云, 郑华. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. *生态学报*, 2013, 33(3): 726-736.
- [8] Pfeifer C, Sonneveld M P W, Stoorvogel J J. Farmers' contribution to landscape services in the Netherlands under different rural development scenarios. *Journal of Environmental Management*, 2012, 111: 96-105.
- [9] 邓玲, 王芳. 乡村振兴背景下农村生态的现代化转型. *甘肃社会科学*, 2019, (3): 101-108.

- [10] 樊敏. 岷江上游山地生态系统服务地域分异过程与补偿阈值. 生态与农村环境学报, 2019, 35(10): 1289-1298.
- [11] Roces-Díaz J V, Díaz-Varela R A, Alvarez-Álvarez P, Recondo C, Díaz-Varela E R. A multiscale analysis of ecosystem services supply in the NW Iberian Peninsula from a functional perspective. Ecological Indicators, 2015, 50: 24-34.
- [12] Bagstad K J, Johnson G W, Voigt B, Villa F. Spatial dynamics of ecosystem service flows: a comprehensive approach to quantifying actual services. Ecosystem Services, 2013, 4: 117-125.
- [13] Ning Z H, Chambers R, Abdollahi K. Modeling air pollutant removal, carbon storage, and CO₂ sequestration potential of urban forests in Scottdale, Louisiana, USA. iForest -Biogeosciences and Forestry, 2016, 9(6): 860-867.
- [14] Fisher J A, Patenaude G, Giri K, Lewis K, Meir P, Pinho P, Rounsevell M D A, Williams M. Understanding the relationships between ecosystem services and poverty alleviation: a conceptual framework. Ecosystem Services, 2014, 7: 34-45.
- [15] Heubach K, Wittig R, Nuppenau E A, Hahn K. The economic importance of non-timber forest products (NTFPs) for livelihood maintenance of rural west African communities: a case study from northern Benin. Ecological Economics, 2011, 70(11): 1991-2001.
- [16] Bagstad K J, Villa F, Batker D, Harrison-Cox J, Voigt B, Johnson G W. From theoretical to actual ecosystem services: mapping beneficiaries and spatial flows in ecosystem service assessments. Ecology and Society, 2014, 19(2): 64.
- [17] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.
- [18] 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.
- [19] 徐媛银, 郭冻, 薛达元, 孙思琦. 赣南地区土地利用格局及生态系统服务价值的时空演变. 生态学报, 2019, 39(6): 1969-1978.
- [20] 赵庆建, 温作民, 张敏新. 识别森林生态系统服务的供应与需求——基于生态系统服务流的视角. 林业经济, 2014, (10): 3-7.
- [21] 张立伟, 傅伯杰. 生态系统服务制图研究进展. 生态学报, 2014, 34(2): 316-325.
- [22] 韩增林, 赵文桢, 闫晓露, 钟敬秋, 孟琦琦. 基于生态系统服务价值损益的生态安全格局演变分析——以辽宁沿海瓦房店市为例. 生态学报, 2019, 39(22): 8370-8382.
- [23] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
- [24] 连喜红, 祁元, 王宏伟, 张金龙, 杨瑞. 人类活动影响下的青海湖流域生态系统服务空间格局. 冰川冻土, 2019, 41(5). (2019-10-23). <https://www.cnki.net/KCMS/detail/62.1072.P.20191022.1547.002.html>.
- [25] 李理, 朱文博, 李艳红, 朱连奇, 徐帅博, 冯小燕. 基于地形梯度特征淇河流域生态系统服务价值损益. 水土保持研究, 2019, 26(5): 287-295.
- [26] 程建, 程久苗, 吴九兴, 徐玉婷. 2000-2010 年长江流域土地利用变化与生态系统服务功能变化. 长江流域资源与环境, 2017, 26(6): 894-901.
- [27] 陈阳, 张建军, 杜国明, 付梅臣, 刘凌露. 三江平原北部生态系统服务价值的时空演变. 生态学报, 2015, 35(18): 6157-6164.
- [28] 伍博炜, 杨胜天, 邵南方, 彭瑞文, 管亚兵. 黄土高原生态脆弱区土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以汾河流域为例. 水土保持研究, 2019, 26(5): 340-345.
- [29] 彭建, 王仰麟, 张源, 李卫锋, 吴健生, 陈大为. 滇西北生态脆弱区土地利用变化及其生态效应——以云南省永胜县为例. 地理学报, 2004, 59(4): 629-638.
- [30] 赵育恒, 曾晨. 武汉城市圈生态服务价值时空演变分析及影响因素. 生态学报, 2019, 39(4): 1426-1440.
- [31] 欧阳晓, 朱翔, 贺清云. 城市化与生态系统服务的空间交互关系研究——以长株潭城市群为例. 生态学报, 2019, 39(20): 7502-7513.
- [32] Yang S Q, Zhao W W, Pereira P, Liu Y X. Socio-cultural valuation of rural and urban perception on ecosystem services and human well-being in Yanhe watershed of China. Journal of Environmental Management, 2019, 251: 109615.
- [33] Smith H E, Ryan C M, Vollmer F, Woollen E, Keane A, Fisher J A, Baumert S, Grundy I M, Carvalho M, Lisboa S N, Luz A C, Zorrilla-Miras P, Patenaude G, Ribeiro N, Artur L, Mahamane M. Impacts of land use intensification on human wellbeing: evidence from rural Mozambique. Global Environmental Change, 2019, 59: 101976.
- [34] Liu Y X, Li T, Zhao W W, Wang S, Fu B J. Landscape functional zoning at a county level based on ecosystem services bundle: methods comparison and management indication. Journal of Environmental Management, 2019, 249: 109315.
- [35] 王静, 王克林, 张明阳, 章春华. 南方丘陵山地带植被净第一性生产力时空动态特征. 生态学报, 2015, 35(11): 3722-3732.
- [36] 吴丹, 邹长新, 高吉喜. 我国重点生态功能区生态状况变化. 生态与农村环境学报, 2016, 32(5): 703-707.
- [37] 吴旗韬, 张虹鸥, 陈静, 陈伟莲. 重点生态功能区产业可持续发展模式选择——以广东省南岭生态区为例//中国地理学会 2012 年学术年会学术论文摘要集. 开封: 中国地理学会, 2012: 176-177.
- [38] 张立伟, 傅伯杰, 吕一河, 董治宝, 李英杰, 曾源, 吴炳方. 基于综合指标法的中国生态系统服务保护有效性评价研究. 地理学报, 2016, 71(5): 768-780.
- [39] 王效科, 杨宁, 吴凡, 任玉芬, 王思远, 薄乖民, 蒋高明, 王玉宽, 孙玉军, 张路, 欧阳志云. 生态效益评价内容和评价指标筛选. 生态学报, 2019, 39(15): 5442-5449.

- [40] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [41] Daily G C, Polasky S, Goldstein J, Kareiva P M, Mooney H A, Pejchar L, Ricketts T H, Salzman J, Shallenberger R. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 21-28.
- [42] Trabucchi M, Ntshotho P, O'Farrell P, Comín F A. Ecosystem service trends in basin-scale restoration initiatives: a review. *Journal of Environmental Management*, 2012, 111: 18-23.
- [43] Speziale L, Geneletti D. Applying an ecosystem services approach to support land-use planning: a case study in Koboko district, Uganda. *Ecological Processes*, 2014, 3(1): 10.
- [44] 雷孝章, 王金锡, 彭沛好, 陈国先, 唐云锦. 中国生态林业工程效益评价指标体系. *自然资源学报*, 1999, 14(2): 175-182.
- [45] 国家林业局. 退耕还林工程生态效益监测国家报告. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- [46] 朱教君. 三北防护林工程生态环境效应遥感监测与评估研究三北防护林体系工程建设 30 年(1978-2008). 北京: 科学出版社, 2016.
- [47] 相晨, 严力蛟, 韩轶才, 吴志旭, 杨文杰. 千岛湖生态系统服务价值评估. *应用生态学报*, 2019, 30(11): 3875-3884.
- [48] 孙中元, 王正茂, 曲宏辉, 刘成杰, 吴晓明, 李东芹, 周珊, 李卫兵. 昆崙山国家级自然保护区森林生态系统服务功能价值评估. *林业资源管理*, 2019, (3): 99-106.
- [49] Lateral P, Orúe M E, Booman G C. Spatial complexity and ecosystem services in rural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, 154: 56-67.
- [50] 张宏锋, 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务功能的尺度特征. *生态学报*, 2007, 26(9): 1432-1437.
- [51] 丁彬, 李学明, 孙学晖, 王仁卿, 张淑萍. 经济发展模式对乡村生态系统服务价值保育和利用的影响——以鲁中山区三个村庄为例. *生态学报*, 2016, 36(10): 3042-3052.
- [52] De Groot R S, Wilson M A, Boumans R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 393-408.
- [53] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [54] Kremen C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 2005, 8(5): 468-479.
- [55] Hein L, van Koppen K, de Groot R S, van Ierland E C. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 2006, 57(2): 209-228.
- [56] Konarska K M, Sutton P C, Castellon M. Evaluating scale dependence of ecosystem service valuation: a comparison of NOAA-AVHRR and Landsat TM datasets. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 491-507.
- [57] 杜鹏, 杨蕾. 2001—2006 年广东省江门市地区森林生态系统服务功能的经济价值评估. *安徽农业科学*, 2009, 37(16): 7756-7758.
- [58] 余新晓, 鲁绍伟, 靳芳, 陈丽华, 饶良懿, 陆贵巧. 中国森林生态系统服务功能价值评估. *生态学报*, 2005, 25(8): 2096-2102.
- [59] 唐衡, 郑渝, 陈阜, 杨立国, 张海林, 孔箫. 北京地区不同农田类型及种植模式的生态系统服务价值评估. *生态经济*, 2008, (7): 56-59, 114-114.
- [60] 谢冬明, 王科, 王绍先, 严岩, 邓红兵. 我国农村生活垃圾问题探析. *安徽农业科学*, 2009, 37(2): 786-788.
- [61] 原培胜. 污水处理厂处理成本分析. *环境工程*, 2008, 26(2): 55-57.
- [62] 虞依娜, 彭少麟, 杨柳春, 叶有华. 广东小良生态恢复服务价值动态评估. *北京林业大学学报*, 2009, 31(4): 19-25.
- [63] 侯英雨, 柳钦火, 延昊, 田国良. 我国陆地植被净初级生产力变化规律及其对气候的响应. *应用生态学报*, 2007, 18(7): 1546-1553.
- [64] 陈鹏. 厦门湿地生态系统服务功能价值评估. *湿地科学*, 2006, 4(2): 101-107.
- [65] 张亚坚, 刘宗君, 谢勇. 南岭国家级自然保护区森林生态系统服务价值评估. *陕西林业科技*, 2017, (5): 32-37.
- [66] 高虹, 欧阳志云, 郑华, Bluemling B. 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度. *生态学报*, 2013, 33(3): 756-763.
- [67] 吴旗韬, 陈伟莲, 张虹鸥, 叶玉瑶. 南岭生态功能区产业选择及发展路径探索. *生态经济*, 2014, 30(2): 88-92.
- [68] 赵景柱. 关于生态文明建设与评价的理论思考. *生态学报*, 2013, 33(15): 4552-4555.
- [69] 赵景柱, 肖寒, 吴钢. 生态系统服务的物质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.