

DOI: 10.5846/stxb202202160372

周素, 刘国华, 周维, 苏旭坤. 红河哈尼梯田遗产区生态系统服务价值外溢研究. 生态学报, 2023, 43(7): 2734-2744.

Zhou S, Liu G H, Zhou W, Su X K. Spillover of ecosystem service value in Honghe Hani Terrace Heritage Area. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(7): 2734-2744.

红河哈尼梯田遗产区生态系统服务价值外溢研究

周 素^{1,2}, 刘国华^{1,2,3}, 周 维^{1,2}, 苏旭坤^{2,3,*}

1 云南大学国际河流与生态安全研究院, 昆明 650091

2 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

3 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049

摘要: 传统农业生态系统服务的价值外溢效应评估有助于提高对该农业生态系统服务价值的正确认知, 为合理规划区域社会经济产业结构以及生态安全布局提供科学依据。以云南省红河哈尼梯田遗产区为例, 采用基于单位面积当量因子方法估算哈尼梯田遗产区农业生态系统服务价值, 并采用市场价值法和旅行费用区间法估算梯田景观的生产服务价值和休闲旅游服务价值, 厘清哈尼梯田遗产区农业生态系统服务价值特征, 探究传统农业生产景观的服务价值外溢情况。结果表明: (1) 1995—2018 年, 研究区土地利用总体变化不显著, 而建设用地面积相对增加较多, 变化率为 59.3%; (2) 哈尼梯田遗产区农业生态系统服务价值总量减少了 811 万元, 变化率为 0.6%; 农业生态系统服务结构保持稳定, 一级服务类型中, 调节服务价值量最大, 二级服务类型中, 气候调节服务价值量最大, 食物和原材料生产价值贡献率仅为 6%, 水资源供给服务价值为负值; (3) 2018 年元阳哈尼梯田景观的粮食生产服务价值为 0.8×10^8 元, 休闲旅游服务功能价值为 1.3×10^8 元。元阳哈尼梯田生态旅游促进区域可持续发展, 梯田农业生产景观具有明显的价值外溢效应。

关键词: 哈尼梯田; 生态系统服务价值; 价值外溢; 梯田景观; 生态旅游

Spillover of ecosystem service value in Honghe Hani Terrace Heritage Area

ZHOU Su^{1,2}, LIU Guohua^{1,2,3}, ZHOU Wei^{1,2}, SU Xukun^{2,3,*}

1 Institute of International Rivers and Eco-security, Yunnan University, Kunming 650091, China

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

3 College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Evaluation on the spillover effect of traditional agroecosystem services is helpful to improve the correct cognition of agroecosystem services and can provide scientific basis for the rational planning of regional socio-economic industrial structure and ecological security layout. Taking the Hani Terrace Heritage Area in Yunnan Province as an example, we used the unit area equivalent factor method to evaluate agroecosystem services. Aiming to clarify characteristics and value spillover of agricultural ecosystem services in the study area, we selected the market value method and the travel cost interval method to estimate the production service value and leisure tourism service value of the terraced landscape. The results showed that: (1) From 1995 to 2018, the overall change in land use in the study area was not significant, while the area of construction land increased relatively much, with a change rate of 59.3%. (2) The total value of agro-ecosystem services in the Hani Terrace Heritage Area decreased by 8.1×10^6 yuan, with a change rate of 0.6%; the agricultural ecosystem service structure remained stable. Among the first-level service types, the value of regulation service was the largest, while among the second-level service types, the value of climate regulation service was the largest. The contribution

基金项目: 科技部课题“第二次青藏高原综合科学考察研究”(2019QZKK0402)

收稿日期: 2022-02-16; 网络出版日期: 2022-11-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xksu@rcees.ac.cn

rate of food and raw material production value was only 6%, and the value of water resource supply service was negative. (3) In 2018, the grain production service value was 0.8×10^8 yuan, and the value of leisure tourism service was 1.3×10^8 yuan. The eco-tourism promotes the regional sustainable development, and the terraced agricultural production landscape has obvious value spillover effect.

Key Words: Hani Terrace; ecosystem services; spilled value; terrace landscape; eco-tourism

农业生态系统是一种自然—人工复合生态系统,除了为人类提供直接的农业经济生产服务外,还提供了容易被人类忽视的生态服务以及社会文化服务,这些功能服务为维持区域生态环境和促进区域社会经济发展做出了积极贡献^[1]。不同地域农业生态系统提供的服务功能存在着自身的特性,生态系统服务价值的评估有利于正确认识区域生态系统价值时空变化,了解其重要的生态、社会及文化功能,可为环境决策和管理服务提供重要依据,以促进其服务价值的实现^[2-3];而生态系统服务价值认识不足会导致农业资源无法得到合理的开发利用,不利于区域农业与农村的可持续发展^[4]。因此,对特定农业生态系统所提供的服务价值进行评估具有重要意义。目前,生态系统服务价值评估方法主要有基于单位面积当量因子的方法(简称当量因子法)和基于单位服务功能价格的方法(简称功能价值法)^[5-6]。功能价值法公式复杂、输入的参数较多,各生态系统服务评价方法和参数标准难以统一,相对而言,当量因子法可以基于标准指标体系评估不同生态系统中的各类生态系统功能服务,只需要各生态系统分布面积等少量数据便可以进行评估,评估全面且可比性高^[7-8]。

针对农业生态系统主要考量农业生产服务等供给功能,因为这是人类生存和福利的核心^[9-10],为人类带来了直接经济效益。然而,随着农业与各产业的融合,农业已进入多功能发展阶段^[11],农业生态系统非市场化的功能服务转化成市场化的生态产品,生态系统服务价值得到有效利用^[12]。在某些情况下,农业景观对周边区域的影响不仅仅是农业商品的生产,非市场生态系统服务的重要性逐渐超过了农业生产^[13],说明农业生态系统服务价值发生了外溢。外溢效应简单来讲,就是事物主体不仅产生了预期的效果,还对事物以外的主体产生一定的影响。本文认为,农业生态系统服务价值外溢是指农业生态系统在为人类提供本身所预期的生产服务价值的同时,还发生了部分价值外溢,这部分价值对农业生态系统以外的主体产生了巨大影响^[14]。旅游业作为一种重要的产业结构,其发展对生态系统服务价值所产生的影响是近些年的研究热点^[15]。研究表明,众多生态系统传统的利用方式产生的经济价值远远低于通过发展生态旅游带来的经济价值,并且,生态旅游间接地保护了生态环境,提高环境资源的利用价值^[16]。农业旅游开发是农业景观文化服务价值的具体实践,能够提高农业生产的经济、社会和文化效益,体现生态系统服务价值实现所产生的外溢效应。

目前,农业生态系统服务价值估算主要集中在国家、区域等不同尺度,以及林地、草地、农田和湿地等各类生态系统^[17],基于某一农业旅游地尺度开展生态系统服务价值估算及价值外溢评估的研究较少。鉴于此,本研究以云南省红河哈尼梯田遗产区为研究区,根据 1995—2018 年土地利用数据,采用当量因子法对其生态系统服务价值进行评估,分析该农业生态系统服务价值特征,并对梯田生产景观的生产服务和休闲旅游服务进行价值核算,探析旅游发展对传统农业生产景观的外溢效应,为农业生态系统服务管理提供科学依据与借鉴,对实现农业可持续发展具有重要意义。

1 研究区概况

红河哈尼梯田世界文化景观遗产地(下文简称“哈尼梯田遗产区”)位于云南省红河州元阳县($22^{\circ}49' - 23^{\circ}19'N$ 、 $102^{\circ}27' - 103^{\circ}13'E$)的中部,包括遗产核心区和遗产缓冲区(图 1),总面积为 461.04 km^2 ,其中核心区 166.03 km^2 ,缓冲区 295.01 km^2 ^[18]。该研究区以山地丘陵类型为主,海拔在 $144 - 2940 \text{ m}$ 之间,海拔差异较为明显,境内主要为亚热带山地季风气候,常年湿润多雨^[19]。研究区内土地利用现状以林地和耕地为主,两者占研究区总面积的 75%以上,耕地包括水田和旱地,种植的主要农作物是水稻、玉米和大豆等。由于地形

等条件限制,研究区内农业属于典型的自给自足的农业模式^[20]。

红河哈尼稻作梯田因其极高的传统农耕文化价值和独特的“森林—村寨—梯田—水系”四素同构农业生态系统,2010 年被联合国粮农组织列为全球重要农业文化遗产目录,2013 年被列为联合国教科文组织世界遗产名录^[21-22]。随着申遗成功,独特的哈尼梯田文化景观、极具风情的多民族文化和良好的生态环境更吸引了更多人关注,梯田旅游业快速发展起来,元阳县哈尼梯田景区被评为国家 4A 级景区^[23]。目前,元阳哈尼梯田景区主要包括坝达梯田、多依树梯田和老虎嘴梯田景区,三大梯田片区均位于哈尼梯田遗产核心区,而位于遗产缓冲区的牛角寨梯田片区尚未开发旅游。同时,阿者科、箐口村和大鱼塘村等传统村落文化景观也是重要的旅游景点,其中,阿者科村被评为“全国乡村旅游重点村”。元阳县哈尼梯田旅游带动了整个元阳县的旅游发展,全县接待国内外游客量从 2007 年的 41.5 万人次增加至 2019 年的 430 万人次,旅游总收入从 2.79 亿元增加至 79.44 亿元。

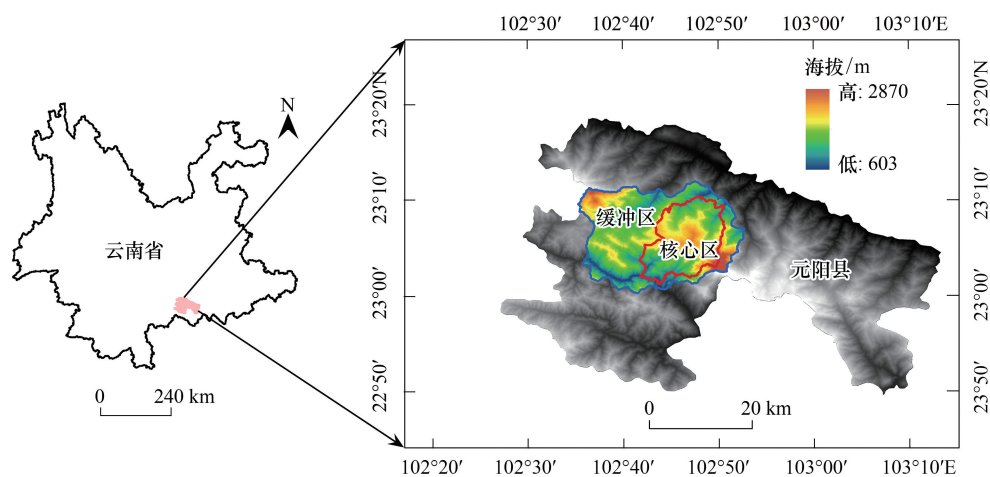


图1 研究区位置

Fig.1 The location of study area

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究使用的数据包括 1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2018 年 6 期土地利用数据和元阳县域的社会经济数据,以及 2021 年实地问卷调查数据。土地利用类型数据来源于中国科学院资源与环境数据中心(<http://www.resdc.cn/>),分辨率为 30 m×30 m,土地利用一、二级类型分类综合精度均超过 90%^[24]。参照该分类体系并结合本研究实际需要,将研究区土地利用类型分为耕地、林地、草地和建设用地 4 类,其中,耕地包括水田和旱地,林地包括有林地、灌木林、疏林地和其他林地,草地包括高覆盖草地和中覆盖草地,建设用地包括城镇用地、农村居民点和其他建设用地。粮食产量、价格及种植面积等社会经济数据来自《元阳县统计年鉴》、《全国农产品成本收益资料汇编》、《中国农村统计年鉴》。2021 年在元阳哈尼梯田景区对来访游客开展问卷调查,共发放问卷 300 份,其中有效问卷 294 份,有效率为 98%,旅游统计数据来自元阳县文化旅游局。

2.2 哈尼梯田遗产区农业生态系统服务价值评估

作为一种复合系统,从宏观上看,哈尼梯田遗产区农业生态系统包括农田、森林和草地生态系统。根据谢高地等人的分类方法,将研究区农业生态系统服务分为 4 个一级服务类型和 11 个二级服务类型,即供给服务(食物生产、原材料生产、水资源供给)、调节服务(气候调节、气体调节、水文调节、净化环境)、支持服务(土壤保持、维持生物多样性、维持养分循环)和文化服务(美学景观);其中,根据哈尼梯田遗产区的实际情况,水文

调节服务功能主要是各类生态系统具有的水源涵养功能,而水资源供给服务功能是指该农业生态系统各子系统为当地居民生活以及梯田灌溉等提供水资源的功能,其他服务功能含义与谢高地等相同)^[5]。当量因子法是将不同类型生态系统通过一个可量化的标准对各种服务功能进行定量评估,并结合生态系统的分布面积计算其经济价值。虽然当量因子法能够实现对研究区生态系统服务价值的快速核算,但其只能反映研究区生态系统服务的整体状况,忽略了特定地理区域具有的特征服务价值^[25]。除了美学价值,哈尼梯田遗产区农业生态系统还具有文化遗产、休闲旅游等文化服务价值,对小尺度的哈尼梯田农业生态系统而言,采用当量因子法将严重低估其文化服务价值^[26]。因此,本研究仅采用当量因子法评估该农业生态系统的整体生态特征。

2.2.1 标准当量生态系统服务价值的确定

一个标准单位生态系统服务价值当量因子是指 1hm² 全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值,在没有人力投入的情况下,农田单位面积天然粮食产量的经济价值是现有农田实际粮食产量经济价值的 1/7^[27]。通过公式(1)^[28-29],计算得到研究区 1995—2018 年不同时期一个标准当量因子的经济价值,考虑到各年份生态系统服务价值之间的可比性,取研究期内的平均值计算^[30],即该研究区 1 个当量因子的经济价值量为 2410 元/hm²。

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \times \text{MCI} \quad (1)$$

式中, E_a 为研究区一个标准当量因子的生态系统服务价值的经济价值,元/hm²; i 为研究区粮食作物的种类; m_i 为研究区第 i 种粮食作物的种植面积, hm²; p_i 为研究区第 i 种粮食作物的全国平均价格,元/kg; q_i 为研究区第 i 种粮食作物的单位面积产量, kg/hm²; M 为 n 种粮食作物的总面积, hm²; MCI 为研究区农田复种指数。

2.2.2 生态系统服务价值计算

谢高地等构建以及改进的当量因子表是全国生态系统服务价值的平均状态^[31],由于区域差异性,为提高生态系统服务评估的准确性,需要根据实际情况将该表修订为研究区的单位面积价值当量因子表,区域修订系数用研究区单位面积粮食产量与全国单位面积粮食产量之比来表示^[32-33]。根据统计资料,得到研究区当量因子的修订系数为 0.82。根据研究区的自然环境,结合当量因子表对研究区生态系统服务价值系数进行修正^[34]。其中,研究区森林植被类型以亚热带常绿阔叶林为主^[35],因此,本研究林地选择阔叶林当量因子,草地选择灌草丛当量因子,水田和旱地采用当量因子表中的值。由上述生态系统服务当量因子与区域修订系数以及标准当量的生态系统服务经济价值相乘得到哈尼梯田遗产区单位面积生态系统服务价值系数表(表 1)。从表中可以看出,森林生态系统的价值系数最大,其次是草地生态系统。

表 1 哈尼梯田遗产区各土地利用类型单位面积生态系统服务价值系数/(元/hm²)

Table 1 Average value of per-hectare of land ecosystem services in Hani Terrace Heritage Area

一级类型 First category	二级类型 Secondary category	耕地 Cropland		林地 Forest	草地 Shrub grassland
		水田 Paddy farmland	旱地 Dry farmland		
供给服务 Supply services	食物生产	2687.6	1679.8	573.1	751.0
	原料生产	177.9	790.5	1304.3	1106.7
	水资源供给	-5197.4	39.5	671.9	612.6
调节服务 Regulating services	气体调节	2193.6	1324.1	4288.4	3893.1
	气候调节	1126.4	711.4	12845.3	10296.0
	净化环境	336.0	197.6	3814.1	3399.1
	水文调节	5375.3	533.6	9367.2	7549.1
支持服务 Support services	土壤保持	19.8	2035.5	5236.9	4742.9
	维持养分循环	375.5	237.1	395.2	355.7
	生物多样性	415.0	256.9	4762.6	4308.1
合计 Total		7509.6	7806.0	43259.0	37014.2

基于研究区各类土地利用类型面积和价值系数表,计算各生态系统服务价值^[36]:

$$ESV = \sum (A_i \times VC_i) \quad (2)$$

$$ESV_f = \sum (A_i \times VC_{fi}) \quad (3)$$

式中, ESV 为生态系统服务总价值; A_i 为研究区第 i 类土地利用类型面积, hm^2 ; VC_i 为第 i 类土地利用类型单位面积服务价值系数, 元/ hm^2 ; ESV_f 为第 f 项生态系统服务价值; VC_{fi} 为第 i 土地利用类型第 f 项生态服务价值系数。

2.3 梯田景观的经济效益评估

初级产品的生产是农田生态系统最重要的服务功能,除此之外,农田还具有气体调节、气候调节、涵养水源、土壤保持等生态服务功能,以及景观美学文化服务功能^[37-38]。目前,社会经济统计仅以初级产品生产来计算农田生态系统的价值,显著低估了农田生态系统对人类社会的重要性,农田提供的生态系统服务的经济价值值得更多的研究关注^[39]。生态服务价值作为一种非物质形态的价值,很难体现在经济价值形态中,对于依赖于生态系统的当地居民来说,他们更重视农田生态系统所带来的直接经济效益^[40]。哈尼梯田农业景观的存在为其周边农村地区带来了利益,除了生产服务功能,梯田景观的休闲旅游服务功能也能为居民带来经济效益,对国民经济做出实际贡献,因此元阳哈尼梯田景观生产价值与休闲旅游价值的评估对研究区的发展规划具有重要意义。

2.3.1 梯田生产服务价值评估

哈尼梯田是典型的山地稻作农田,主要用来种植水稻,是一个特殊的稻田生态系统,稻田全年泡水,种植过程中很少施加化肥和农药^[41]。当量因子法反映的是全国平均状态下的农田,采用该方法估算该稻田生态系统的生产价值具有较大误差,因此,本研究另选用市场价值法对梯田子系统的生产价值进行精确评估。

稻谷和秸秆是稻田生态系统提供的主要初级产品,稻谷是梯田居民的主要粮食来源,秸秆则可作为造纸、纤维制品和饲料等的原料。计算公式如下:

$$V = T_D \times P_D + T_J \times P_J$$

式中, V 为稻田生产价值,元; T_D 和 T_J 分别为研究区稻谷和秸秆的年总产量, t ; P_D 和 P_J 分别为研究区稻谷和秸秆的市场价格,元/ t 。

2.3.2 梯田景观休闲旅游价值评估

哈尼梯田是哈尼族、彝族祖先为躲避战乱,南迁到红河河谷,定居在无人居住的哀牢山中海拔山地,为了生存开启了开垦梯田的历程^[42]。经过长期的人与自然的相互作用,形成了以森林—村寨—梯田—河流“四素同构”为特征的农业生态系统,并形成了哈尼族特有的梯田稻作农耕文化,包括农业耕作技术、传统民族习俗和文化^[43]。山岭上的梯田,层层叠叠似天梯,波光粼粼的水面在光线下像一幅五彩斑斓油画,不同的季节呈现出不同的景色,除此之外,还有具有梦幻般色彩的日出日落、瑰丽神奇的云海等奇观。哈尼梯田不仅仅是一种壮丽的自然景观,更是一种独特的农业文化景观,山地农业实践中形成的稻作农业文化与梯田景观相得益彰,具有较高的美学景观价值,享有全球重要农业文化遗产、世界文化景观遗产、中国非物质文化遗产等美誉^[44-45],吸引了无数国内外游者的到来。

梯田景观的美学价值以及哈尼梯田的文化遗产价值是元阳哈尼梯田景区生态旅游发展的主要动力,体现了梯田景观的休闲旅游文化服务功能。目前,旅行费用法在休闲旅游价值评估方面得到了广泛应用,本研究采用一种改进的旅行费用法—旅行费用区间分析法 (TCIA) 来定量研究元阳哈尼梯田景区的休闲旅游价值^[46]。

旅行费用法是以消费者剩余理论计算休闲娱乐的价值,即景观的休闲旅游价值等于消费者支出与消费者剩余之和。游客的旅行费用 (TC) 是游客在游览时的直接消费和游客的时间成本之和,直接费用包括门票、餐饮、住宿、交通、购物等。元阳哈尼梯田游客大部分都是采取自驾游方式,且元阳梯田不是单一目的地,旅行往返交通时间具有不确定性,因此,本研究不考虑路途往返时间,选取游客在景区逗留的时间计算,并采用游客

日工资的 1/3 作为折算系数^[47],如公式(4)所示。通过实地问卷调查数据,计算出样本总旅行费用为 1.89×10^5 元。

$$C_t = t \times \frac{Y}{30} \times \frac{1}{3} \quad (5)$$

式中, C_t 为时间成本,元; t 为游客在景区逗留时间,天; Y 为游客的月收入,元/月。

根据 N 个样本的旅行费用,将游客划分在 $[TC_0, TC_1], [TC_1, TC_2], \dots, [TC_n, +\infty)$ 共 $n+1$ 个旅行费用区间中。假设处在第 i 个费用区间的每位游客都愿意在旅行费用等于或低于 TC_i 时出游,则游客样本需求量 M_i 表示为第 i 区间游客人数加上更高费用区间的所有游客人数^[48]。本研究共划分 21 个费用区间(表 2)。假设 P_i 为旅行费用为 TC_i 时游客的出游率(%),则 $Q_i = P_i$,为每位游客在费用为 TC_i 时的旅游意愿需求率^[49],公式如下:

$$P_i = M_i / N \quad (6)$$

表 2 2020 年元阳哈尼梯田游客样本费用分区结果

Table 2 Travel cost intervals of visitor samples in Yuanyang Hani terrace

旅行费用区间 [TC_i, TC_{i+1}]/元	游客人数 N_i /人	游客需求量 M_i /人	意愿需求率 Q_i /%	旅行费用区间 [TC_i, TC_{i+1}]/元	游客人数 N_i /人	样本需求量 M_i /人	意愿需求率 Q_i /%
[0, 50)	7	294	1.00	[550, 600)	11	111	0.38
[50, 100)	20	287	0.98	[600, 650)	5	100	0.34
[100, 150)	12	267	0.91	[650, 700)	4	95	0.32
[150, 200)	29	255	0.87	[700, 750)	8	91	0.31
[200, 250)	30	226	0.77	[750, 800)	10	83	0.28
[250, 300)	34	196	0.67	[800, 850)	4	73	0.25
[300, 350)	5	162	0.55	[850, 900)	9	69	0.23
[350, 400)	12	157	0.53	[900, 950)	6	60	0.20
[400, 450)	10	145	0.49	[950, 1000)	10	54	0.18
[450, 500)	21	135	0.46	[1000, +∞)	44	44	0.15
[500, 550)	3	114	0.39				

TC:旅行费用 Travel cost; N:游客人数 Number; M:游客需求人数 Majority; Q:意愿需求 Quantity

借助 SPSS Version 26.0 软件,以各区间下限 TC_i 为自变量,以 Q_i 为被因变量,选取线性函数和指数函数两种方式进行回归分析,选择拟合优度较高的函数模型推导意愿旅游需求曲线方程,并对需求曲线积分得到消费者剩余^[50]:

$$CS_i = \int_{TC_i}^{\infty} Q(TC_i) dTC_i \quad (7)$$

$$SCS = \sum_{i=1}^n N_i CS_i \quad (8)$$

式中, CS_i 为每个区间的消费者剩余; SCS 为总消费者剩余。

根据旅游区游客的数量可以计算梯田休闲旅游总价值,公式如下:

$$RV = \frac{STC + SCS}{N} \times TN \quad (9)$$

式中, RV 为研究区休闲旅游总价值; STC 为样本总旅行费用; SCS 为总消费者剩余; TN 为景区当年接待游客人数。

3 结果分析

3.1 土地利用变化特征

哈尼梯田遗产区以林地和耕地为主,建设用地占比不高(图 2)。研究区梯田土地利用类型按面积大小排

序为林地>草地>旱地>水田>建设用地,其中 6 个时期均为林地面积最大,平均比重为 50%(表 3)。其次是耕地,约为 27%(水田面积 10%,旱地面积 17%),草地面积占比为 22%,建设用地最小,低于 1%。除了建设用地,其他土地利用类型 6 个时期的变化比较稳定,水田和草地面积小幅度增加,旱地和林地面积小幅度减少,变化率均低于 10%。尽管建设用地面积占比较小,但处于快速增长趋势,从 1995 年到 2018 年增加了 97.5 hm²,变化率为 59.3%。建设用地的增加主要是由于元阳哈尼梯田景区旅游业的开发,观景台、住宿、道路等各项基础设施的建设。

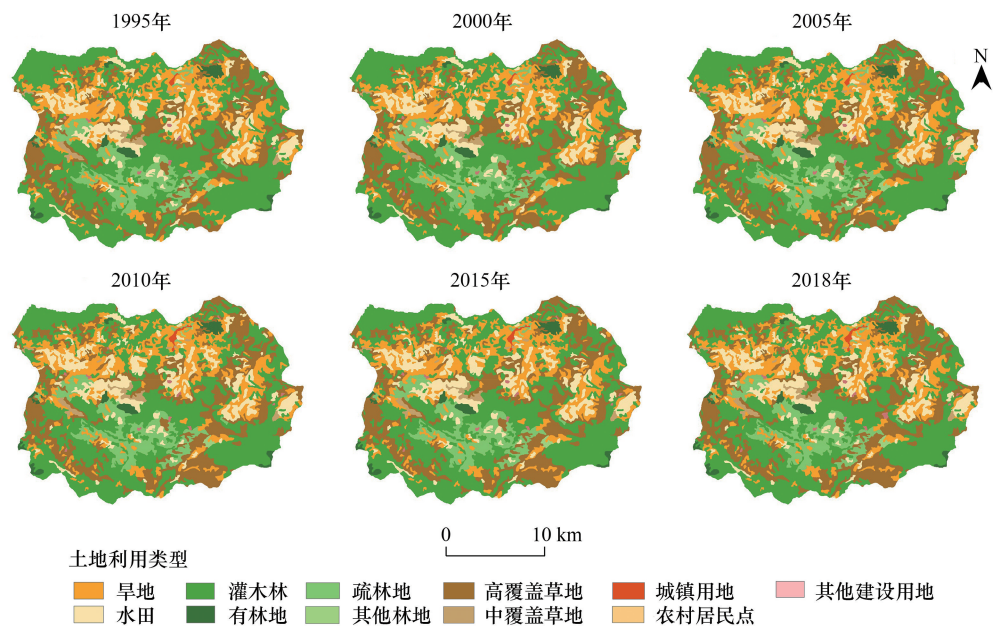


图 2 哈尼梯田遗产区 1995—2018 年土地利用空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of land use in Hani Terrace Heritage Area from 1995 to 2018

表 3 1995—2018 年哈尼梯田遗产区土地利用类型变化

Table 3 Changes of different land use types in Hani Terrace Heritage Area from 1995 to 2018

土地利用类型 Land use types	土地面积/hm ²						1995—2018 年	
	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2018 年	变化量/hm ²	变化率/%
水田 Paddy farmland	4782.3	4778.4	4796.3	4783.5	4777.7	4784.9	2.5	0.1
旱地 Dry farmland	7968.2	7967.6	7970.0	7908.8	7929.4	7908.6	-59.6	-0.8
林地 Forest	23560.6	23562.6	23556.9	22573.9	22592.3	22572.8	-987.8	-4.2
草地 Shrub grassland	9612.5	9614.4	9597.3	10590.8	10561.9	10559.8	947.3	9.9
建设用地 Construction land	164.4	165.0	167.5	230.9	226.6	261.9	97.5	59.3

3.2 哈尼梯田遗产区农业生态系统服务特征

研究时段内哈尼梯田遗产区农业生态系统服务功能价值结构基本稳定(表 4),生态系统服务总价值略有变化,1995 年到 2018 年共减少了 811 万元,价值变化率为 0.6%。土地利用类型之间相互转化导致各功能服务的价值随之发生波动,但波动幅度较小。从生态系统一级服务功能来看,研究区农业生态系统提供的调节服务价值最大,占三大服务价值总和的 70%左右,其次是支持服务,供给服务价值仅占 6%左右。单项功能服务价值由高到低为气候调节>水文调节>土壤保持>气体调节>生物多样性>净化环境>原材料生产>食物生产>维持养分循环>水资源供给,气候调节和水文调节功能价值将近占总价值的 50%,食物和原料生产功能价值仅占总价值的 6%左右,水资源供给功能贡献率小于 0。

表 4 1995—2018 年哈尼梯田遗产区生态系统服务价值组成及变化

Table 4 Composition and changes of ecosystem service value in Hani Terrace Heritage Area from 1995 to 2018

生态系统服务类型 Ecosystem services types		生态系统服务价值 Ecosystem services value (ESV)/万元						变化量 Variation/ 万元	变化率 Change rate/%
一级类型	二级类型	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2018 年	1995—2018 年	
供给服务 Supply services	食物生产	4695.9	4695.0	4698.6	4703.2	4703.9	4701.1	5.2	0.1
	原材料生产	4851.7	4852.1	4849.9	4826.6	4827.3	4823.0	-28.7	-0.6
	水资源供给	-282.2	-279.8	-290.6	-289.3	-286.8	-292.0	-9.9	-3.5
调节服务 Regulating services	气体调节	15949.9	15950.6	15945.7	15900.1	15898.2	15887.8	-62.1	-0.4
	气候调节	41266.8	41270.9	41248.2	41002.7	40997.3	40969.4	-297.4	-0.7
	净化环境	12571.6	12572.9	12565.6	12526.7	12524.1	12515.8	-55.8	-0.4
	水文调节	32321.9	32323.1	32314.7	32133.8	32127.2	32110.0	-211.9	-0.7
支持服务 Support services	土壤保持	18528.9	18530.8	18520.2	18464.2	18464.3	18448.8	-80.1	-0.4
	维持养分循环	1641.7	1641.7	1641.6	1636.1	1636.1	1635.0	-6.7	-0.4
	生物多样性	15765.4	15767.0	15757.7	15715.5	15712.1	15701.7	-63.7	-0.4
总计 Total		147311.7	147324.2	146619.4	146603.7	146500.6	-811.0	-0.6	

3.3 梯田景观的价值分析

3.3.1 梯田生产价值分析

元阳哈尼梯田景区主要包括坝达梯田、多依树梯田和老虎嘴梯田,三大梯田面积约为 36000 亩,景区主要生产稻谷的产量为 1.3×10^4 t/a,根据稻谷和秸秆的重量折算比 1:0.9,得到秸秆产量为 1.1×10^4 t/a;稻谷和秸秆的市场价格分别以 6000 元/t 和 80 元/t 计算,得到元阳哈尼梯田景区梯田生产功能的总价值为 0.8 亿元。

3.3.2 梯田美学景观功能使用价值分析

由表 5 可看出,本研究拟合的线性函数和指数函数的 R^2 和 F 检验值都比较大,且显著水平高,两者模型相比,指数函数 R^2 值更接近 1,说明指数函数拟合效果更好,可靠性更大,更符合实际情况。因此,选择指数函数推导意愿旅游需求曲线方程,该曲线方程表明旅行费用与旅游率呈负相关关系(图 3),费用区间的旅行费用越高,该区间的意愿旅游需求就越小,符合一般旅游需求规律^[51]。

表 5 旅行费用与旅游意愿回归模型

Table 5 Travel Regression model of travel cost and tourist willing

函数类型 Function type	自变量 Independent variable	因变量 Dependent variable	常量 Constant	参数估计值 Parameter estimate	判定系数 Coefficient of determination	F 检验值 Equality of variances	显著性 Significance
线性函数 Linear function	TC_i	Q_i	0.916	-0.001	0.932	258.982	0.000
指数函数 Exponential function	TC_i	Q_i	1.059	-0.002	0.992	2295.675	0.000

由需求方程计算得到该样本的总消费者剩余为 9974.2 元,从而得到人均游憩价值为 676.5 元。根据元阳县旅游局提供的景区游客人数与人均游憩价值,得到元阳哈尼梯田景区休闲旅游总价值(图 4)。哈尼梯田申遗成功后,元阳哈尼梯田景区每年游览的游客逐渐增多,休闲旅游价值也随之增大。2018 年景区接待的游客人数为 193100 人,元阳哈尼梯田休闲旅游价值为 1.3 亿元。

4 讨论

4.1 生态系统功能服务是梯田景观稳定性的条件

研究期间,哈尼梯田遗产区土地利用局部存在变化,其中,建设用地变化幅度最大。哈尼梯田申遗后,梯田景区开发力度越来越大,观景台、民宿酒店以及哈尼小镇等基础设施的建设,土地利用方式变化对研究区农业生态系统服务价值存在影响。哈尼梯田生态系统虽是哈尼族和彝族为了生计充分利用哀牢山的地理环境

特征建立的社会—经济—文化复合农业生态系统,然而,从服务价值角度来看,研究区食物和原料生产功能服务价值仅占农业生态系统总服务价值的 6% 左右,生态调节服务占主导地位,其中,气候调节和水文调节功能是该区域最突出的服务功能。森林子系统是该农业生态系统极为重要的一个要素,对整个农业生态系统服务价值贡献最大。水是元阳哈尼梯田的灵魂,贯穿遗产地“四素同构”农业生态系统中。研究区降雨丰沛,山顶的森林涵养了大量的水,形成山泉和溪流,不断为梯田提供水源,以及为居民提供生活用水。因此,哈尼族人很好地保护森林生态系统,在国家环境政策实施之前,哈尼族的风俗和信仰就已经把保护生态环境放在首位^[45]。哈尼梯田遗产区农业生态系统中各环境要素的相互联系及其生态功能的作用,是梯田农业景观形成的基础,维护着元阳哈尼梯田景区的良好生态环境,支撑该地旅游业的发展。

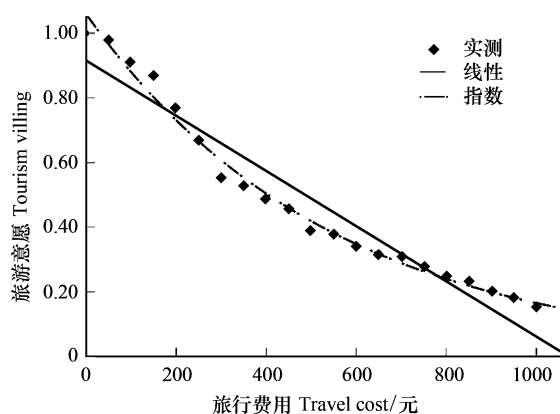


图3 元阳哈尼梯田景区游客游憩需求曲线

Fig.3 Tourists' recreation demand curve of Yuanyang Hani Terrace Scenic Area

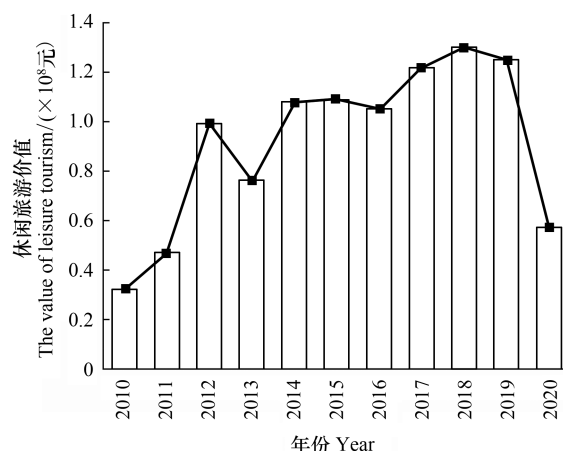


图4 2010—2020 年元阳哈尼梯田景区休闲旅游价值

Fig.4 Leisure tourism value of Yuanyang Hani terrace landscape from 2010 to 2020

4.2 元阳哈尼梯田景观的价值外溢

休闲旅游服务价值是梯田农业景观与传统农业文化景观的溢出价值,元阳梯田可持续地为当地居民提供粮食和生计服务的同时,梯田景观的休闲旅游服务功能也能为当地提供经济效益。从服务价值角度来看,2020 年梯田景区的粮食生产价值为 0.8 亿元,因为疫情 2020 年元阳梯田景区的游客数量急剧减少,导致估算得到的旅游价值低于梯田景观的生产价值。事实上,申遗成功后,元阳哈尼梯田景区游客数量呈现快速增长趋势,梯田景观的休闲旅游服务价值已经逐渐超过其粮食生产服务价值。梯田旅游业发展是梯田景观休闲旅游功能服务的价值实现,梯田的产出由单纯的粮食产品转变为粮食产品和生态旅游产品,而粮食产品对区域社会发展的影响远远不及生态旅游产品。元阳哈尼梯田农业景观旅游发展产生的外溢效应体现在:第一,产生旅游收入,拉动元阳县旅游业的发展。哈尼梯田申遗成功后,元阳县旅游总收入快速增长,并逐渐超过县域农业总产值和农村经济总收入(图 5)。元阳哈尼梯田生态旅游业对元阳县的社会经济发展贡献巨大,并成为了元阳县的支柱产业,实现了旅游扶贫。第二,提高农产品的附加值,促进元阳县农业相关产业的发展。旅游业的发展促进了农产品的出售,拉动了元阳县农产品加工

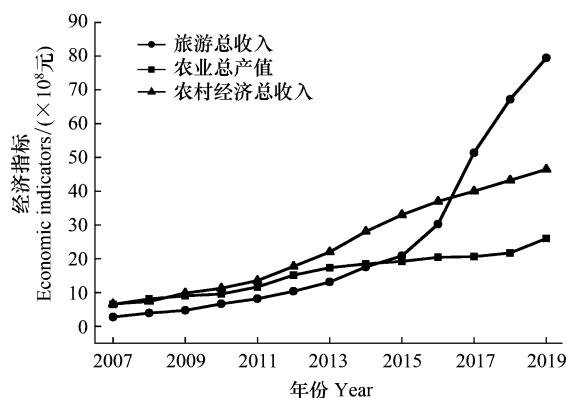


图5 元阳县旅游总收入与农业经济指标

Fig.5 Tourism revenue and agricultural economic indicators of Yuanyang County

业、电子商务等相关行业的融合发展,优化了当地的社会经济结构^[52]。梯田红米成为全国著名的梯田特色农产品,还生产了红米酒、红米线、红米洗发水等一系列产品,元阳商城、梯田云、粮食购销、哈尼梯田“稻鱼鸭”示范区等县域电商产业链融合发展,全网 12 家电商企业 4670 个微小店销售元阳农特产品,2019 年预计电子商务交易总额 2180 万元。第三,吸纳当地劳动力,给当地居民提供更多的就业机会,增加家庭收入。最后,促进农业文化遗产的传承和保护。生态旅游是哈尼梯田农业文化遗产的一种动态保护,当地政府和居民依靠梯田资源发展旅游提高收入,改善生活水平,相应地,为了保持这种优势,当地人不得不重视该区域生态环境和梯田景观的保护,同时,还需保留他们的传统文化、民族习俗等来吸引游客,是生态环境保护与居民生计可持续发展的现实路径^[53]。

5 结论

本研究基于元阳哈尼梯田这一生态产品价值实现的典型,探究了哈尼梯田遗产区农业生态系统服务价值的外溢效应,得到以下结论:(1) 1995—2018 年研究区土地利用变化较小,生态系统服务价值小幅度减少;(2) 哈尼梯田遗产区农业生态系统服务价值由高到低依次为:气候调节>水文调节>土壤保持>气体调节>生物多样性>净化环境>原材料生产>食物生产>维持养分循环>水资源供给;(3) 元阳梯田景观能为当地提供具有农产品生产与生态旅游双重经济效益,随着旅游的发展,梯田景观休闲旅游服务价值逐渐高于梯田粮食生产的价值。哈尼梯田生态旅游对社会经济的贡献远远高于农业生产本身,不仅能产生旅游收入和农业相关产业的经济收入,还能为当地居民提供就业机会等社会保障服务,同时,还能促进区域生态环境和农业文化遗产的保护。元阳哈尼梯田景观具有明显的价值外溢效应,体现了“绿水青山就是金山银山”的生态文明理念。因此,当地政府应建立合理的资源与利益分配机制和生态补偿标准,充分利用其生态服务价值,促进传统农业的可持续发展,实现人与自然和谐共处。

参考文献(References):

- [1] 张碧桃,周忠学. 秦巴山区土地利用变化对农业生态系统服务的影响——以汉中盆地为例. 陕西师范大学学报:自然科学版, 2020, 48(1): 21-31.
- [2] 赵军,杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展. 生态学报, 2007, 27(1): 346-356.
- [3] 李禾尧,何思源,闵庆文,朱会林,吴连勇. 重要农业文化遗产价值体系构建及评估(II):江苏兴化垛田传统农业系统价值评估. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(9): 1370-1381.
- [4] 谈存峰,王生林. 兰州农业生态系统服务功能价值实证分析. 西南农业大学学报:社会科学版, 2012, 10(4): 62-66.
- [5] 谢高地,张彩霞,张雷明,陈文辉,李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [6] 袁周炎妍,万荣荣. 生态系统服务评估方法研究进展. 生态科学, 2019, 38(5): 210-219.
- [7] 雷金睿,陈宗铸,陈小花,李苑菱,吴庭天. 1980—2018 年海南岛土地利用与生态系统服务价值时空变化. 生态学报, 2020, 40(14): 4760-4773.
- [8] 於方,杨威杉,马国霞,周颖. 生态价值核算的国内外最新进展与展望. 环境保护, 2020, 48(14): 18-24.
- [9] 黄国勤. 长江经济带稻作农业文化遗产的现状与价值. 农业现代化研究, 2021, 42(1): 10-17.
- [10] Zhou Z X, Robinson G M, Song B J. Experimental research on trade-offs in ecosystem services: The agro-ecosystem functional spectrum. Ecological Indicators, 2019, 106: 105536.
- [11] 范水生,陈文盛,邱生荣,朱朝枝. 山地型休闲农业生态系统服务功能价值评估研究. 中国农业资源与区划, 2015, 36(7): 117-122.
- [12] 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.
- [13] Schaller L, Targetti S, Villanueva A J, Zasada I, Kantelhardt J, Arriaza M, Bal T, Fedrigotti V B, Giray F H, Häfner K, Majewski E, Malak-Rawlikowska A, Nikolov D, Paoli J C, Piorr A, Rodríguez-Entrena M, Ungaro F, Verburg P H, Van Zanten B, Viaggi D. Agricultural landscapes, ecosystem services and regional competitiveness-Assessing drivers and mechanisms in nine European case study areas. Land Use Policy, 2018, 76: 735-745.
- [14] 黄晶晶,李玲玲,徐琳瑜. 基于外溢生态系统服务价值的区域生态补偿机制研究. 生态学报, 2021, 41(17): 6994-7001.
- [15] 马勇,凌旋,童昀. 格网尺度下典型旅游城市生态服务价值估算和时空分异特征——以三亚为例. 生态学报, 2021, 41(19): 7542-7554.
- [16] 于洋,王尔大,刘爱琴,赵玲. 国内外旅游资源游憩价值评估研究综述. 华东经济管理, 2009, 23(9): 140-146.

- [17] 杨正勇, 杨怀宇, 郭宗香. 农业生态系统服务价值评估研究进展. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 1045-1050.
- [18] 王梅, 角媛梅, 华红莲, 任敬, 张贵玲, 闫晓景. 红河哈尼梯田遗产区居民旅游影响感知和态度的村寨差异. 旅游科学, 2016, 30(3): 69-79.
- [19] 王红崧, 王云月, 杨燕楠, 李小龙, 陈娟, 韩光煜, 单祖鹏. 元阳哈尼梯田农民种子系统和农业文化景观格局. 生态环境学报, 2019, 28(1): 16-28.
- [20] 颜飞. 元阳哈尼梯田环境友好型土地利用模式研究. 农业与技术, 2016, 36(4): 255-256.
- [21] 张爱平. 农业文化遗产旅游地不同类型农户的农地利用行为演变分异——以哈尼梯田为例. 旅游学刊, 2020, 35(4): 51-63.
- [22] 周宗俊, 保继刚, 翁时秀. 梯田保护利用的演化逻辑及外力影响因素——以元阳哈尼梯田为例. 热带地理, 2021, 41(2): 388-397.
- [23] 周小凤, 张朝枝. 元阳哈尼梯田遗产化与旅游化的关系演变与互动机制. 人文地理, 2019, 34(3): 154-160.
- [24] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 徐新良, 张树文, 颜长珍, 李仁东, 吴世新, 胡云锋, 杜国明, 迟文峰, 潘涛, 宁静. 2010-2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802.
- [25] Zhang L L, Yu X F, Jiang M, Xue Z S, Lu X G, Zou Y C. A consistent ecosystem services valuation method based on Total Economic Value and Equivalent Value Factors: A case study in the Sanjiang Plain, Northeast China. Ecological Complexity, 2017, 29: 40-48.
- [26] 朱顺顺, 章锦河, 胡欢, 陈草惠. 旅游发展的生态系统服务价值增值效应研究. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 603-613.
- [27] 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.
- [28] 雷军成, 王莎, 汪金梅, 吴松钦, 游细斌, 吴军, 崔鹏, 丁晖. 土地利用变化对寻乌县生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2019, 39(9): 3089-3099.
- [29] Li Y, Zhang P J, Qin Y C. Ecological Service Evaluation: An Empirical Study on the Central Loess Plateau, China. Polish Journal of Environmental Studies, 2020, 29(2): 1691-1701.
- [30] 潘洪义, 张琴, 李加安, 徐婕, 黄佩. 基于动态当量的彝汉交错深度贫困区生态系统服务价值时空演变研究. 生态学报, 2020, 40(22): 8218-8229.
- [31] 杨强强, 徐光来, 李爱娟, 刘永婷, 胡春生. 青弋江流域生态系统服务评估与权衡研究. 生态学报, 2021, 41(23): 9315-9327.
- [32] 徐丽芬, 许学工, 罗涛, 朱高儒, 马宗文. 基于土地利用的生态系统服务价值当量修订方法——以渤海湾沿岸为例. 地理研究, 2012, 31(10): 1775-1784.
- [33] Yuan K Y, Li F, Yang H J, Wang Y M. The Influence of Land Use Change on Ecosystem Service Value in Shangzhou District. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(8): 1321.
- [34] 李佳鸣, 冯长春. 基于土地利用变化的生态系统服务价值及其改善效果研究——以内蒙古自治区为例. 生态学报, 2019, 39(13): 4741-4750.
- [35] 吕靓, 郭砾, 杨京彪, 关越. 云南省元阳县林业资源规划与评价. 中央民族大学学报: 自然科学版, 2012, 21(2): 5-10.
- [36] 龙精华, 张卫, 付艳华, 胡振琪. 鹤岗矿区生态系统服务价值. 生态学报, 2021, 41(5): 1728-1737.
- [37] 薛宝林, 张路方, 张铁亮, 孙文超, 李占杰. 稻田生态系统服务价值评价——以湖南省为例. 中国农村水利水电, 2020, (1): 52-57.
- [38] 刘利花, 尹昌斌, 钱小平. 稻田生态系统服务价值测算方法与应用——以苏州市域为例. 地理科学进展, 2015, 34(1): 92-99.
- [39] Xiao Y, An K, Xie G D, Lu C X. Evaluation of Ecosystem Services Provided by 10 Typical Rice Paddies in China. Journal of Resources and Ecology, 2011, 2(4): 328-337.
- [40] Rana K, Goyal N, Sharma G P. Staging stewards of agro-ecosystems in the ecosystem services framework. Ecosystem Services, 2018, 33: 89-101.
- [41] 郑春利, 郭先华, 祖艳群, 何永美, 徐耀阳. 元阳梯田稻田生态系统服务价值评价. 生态科学, 2018, 37(2): 124-130.
- [42] 耿宇鹏, 张多. 红河哈尼梯田: 人与自然生命共同体的典范. 科学, 2021, 73(5): 11-15.
- [43] 杨惠林, 陆汉兵. 世界文化遗产哈尼梯田生态文化的传播路径研究. 农业考古, 2019, (3): 247-253.
- [44] 张多. 遗产化与神话主义: 红河哈尼梯田遗产地的神话重述. 民俗研究, 2017, (6): 61-68.
- [45] Zhao X D, Zhao R. Study on The Ecology System of Hani Terraced Paddy Fields. Agricultural Science & Technology, 2014, 15(10): 1793-1796.
- [46] 牟雪洁, 张箫, 赵昕奕, 饶胜, 柴慧霞, 朱振肖, 汤文豪. 基于费用区间法的延庆区 A 级自然景观休闲旅游价值评估. 生态经济, 2019, 35(3): 129-133.
- [47] 刘东焯, 黄羿, 朱伟俊, 常向阳. TCIA 法在湿地公园休憩旅游价值评估中的应用——以广州海珠国家湿地公园为例. 环境与发展, 2019, 31(1): 179-181, 183-183.
- [48] 薛明月, 王成新. 基于旅行费用法的泉水型旅游景区游憩价值评估——以济南市趵突泉景区为例. 济南大学学报: 自然科学版, 2020, 34(1): 62-68.
- [49] 李巍, 李文军. 用改进的旅行费用法评估九寨沟的游憩价值. 北京大学学报: 自然科学版, 2003, 39(4): 548-555.
- [50] 周金莺, 童依霜, 丁倩, 张宇骁, 张建英, 杨武. 基于旅行费用法的衢州市柯城区“一村万树”工程生态旅游服务价值评估. 生态学报, 2021, 41(16): 6440-6450.
- [51] 查爱苹, 邱洁威. 基于旅行费用的杭州西湖风景名胜游憩价值评估研究. 旅游科学, 2015, 29(5): 39-50.
- [52] Zhang Y X, He L L. Protecting important agricultural heritage systems (IAHS) by industrial integration development (IID): practices from China. Journal of Resources and Ecology, 2021, 12(4): 555-566.
- [53] Zhang Y X, Min Q W, Jiao W J, Liu M C. Values and Conservation of Honghe Hani Rice Terraces System as a GIAHS Site. Journal of Resources and Ecology, 2016, 7(3): 197-204.