

皖南查济古村落旅游净碳排放估算与减碳增汇研究¹

丁雨莲、刘德旺、张凤琴²，沈纪锋¹

(1. 安徽农业大学经济管理学院, 安徽合肥 230036;

2. 安徽工业经济职业技术学院旅游管理学院, 安徽合肥 230051)

【摘要】当前,乡村旅游地已成为人们外出旅行的重要选择。一方面,乡村旅游地消耗碳基能源、产生旅游垃圾,排放出 CO₂;另一方面,乡村地区陆地生态系统中蕴藏着丰富的碳汇资源,而乡村旅游发展客观上保护并提升了旅游地系统中的碳汇和生态服务功能。从源、汇两端出发,构建乡村旅游地的净碳排放估算框架,集成估算方法,估算皖南查济古村落 2015 年净碳排放为负值,表明旅游业排放的 CO₂低于旅游地系统碳汇资源吸收的 CO₂量。通过定量分析,认为旅游食宿接待能源消耗与旅游垃圾焚烧碳排放是主要碳源,林地覆被和农业作物是主要碳汇。从教育、管理、规划等方面提出减碳增汇的对策。

【关键词】净碳排放; 估算; 减碳; 增汇; 查济古村落

【中图分类号】 F590-05; X511.6 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1005-8141 (2018) 07-0935-06

1、引言

全球气候变化是人类社会面临的严峻环境问题,以 CO₂为代表的温室气体排放被认为是致使气候变暖的重要原因。随着现代大众旅游的发展,因旅游而产生的温室气体排放约占全球碳排放的 5%^[1]。另一方面,旅游系统中蕴藏着大量的碳汇资源,如森林景观、湿地景观、湖泊景观、乡村景观,它们不仅具有美学观赏价值,同时还发挥着重要的生态服务功能,旅游业的发展客观上保护并提升了旅游地系统中的碳汇及其生态服务功能。因此,从“源、汇”两端出发估算净碳排放能全面反映旅游地对碳排放的贡献度,也为低碳旅游发展提供了更多的实现路径。

在碳源碳排放研究方面,谢园方等估算了长三角地区旅游业能源消耗的碳排放^[2];陶玉国估算了江苏省旅游能耗的碳排放^[3];丁雨莲等从横向与纵向两维视角构建了旅游业碳源系统^[4];王凯等研究了我国旅游业碳排放的区域差异^[5];王志民估算了镇江“三山”风景区旅游碳排放测度^[6];章锦河研究了旅游废弃物的生态影响,认为旅游废弃物处置排放 CO₂^[7];唐承财等在剖析我国低碳旅游内涵基础上,提出了低碳可持续旅游发展策略^[8];查建平等研究了我国旅游业碳减排潜力及减排对策在碳汇碳吸收研究方面,学者们对陆地生态系统碳汇碳吸收进行了研究。于贵瑞等构建了陆地生态系统碳收支评估方法^[10];赵荣钦等分析了沿海地区农田生态系统的碳源碳汇时空演变特征^[11];段晓男研究了我国湿地生态系统固碳现状和潜力^[12];张颖等研究了森林碳

¹ [收稿日期]: 2018-05-16; [修订日期]: 2018-06-13

[基金项目]: 安徽省高校人文社会科学研究重点项目“乡村旅游地的能源消耗及其环境影响研究——以合肥地区典型乡村旅游地为例”(编号: SK2015A599);安徽省教育厅高校优秀青年人才支持计划重点项目“低碳导向下乡村旅游可持续发展研究”(编号: gxyqZD2016029);安徽省哲学社会科学规划项目“安徽省农业科技园区旅游产业融合研究”(编号: AHSKY2015D76)。

[第一作者及通讯作者简介]: 丁雨莲(1979—),女,安徽省合肥人,博士,副教授,主要研究方向为休闲农业与乡村旅游规划、可持续发展。

汇的生态服务功能^[13]；郭然等研究了草地土壤生态系统固碳的潜力^[14]；丁雨莲研究了乡村旅游地碳汇体系与特征，认为乡村旅游地碳汇与陆地生态系统碳汇具有耦合性^[15]。此外，还有部分学者从碳源碳汇两端研究旅游的净碳排放。王志民等从碳源碳汇两个方面测算旅游景区的净碳排放^[16]；周年兴等测度了庐山风景区碳源与碳汇，认为其碳排放要大于碳吸收，表现为碳源^[17]。前人成果为本研究提供了有益的启示。

2、乡村旅游地净碳排放估算体系及方法

2.1 估算的理论框架

净碳排放是指在一定时间和特定区域内生态系统的生物碳吸收输入与碳排放输出的收支情况^[10]，它反映出区域的碳平衡状态，为特定区域碳管理规划提供科学的数据支撑。因此，本研究中的乡村旅游地净碳排放是指在一定时间和特定乡村旅游系统内陆地生态系统生物碳吸收与旅游业碳排放的收支情况。

旅游碳源主要为旅游经营与管理部门能源消耗与废弃物处置^[4]，本研究中乡村旅游地碳源选取旅游食宿、交通、购物、娱乐、管理环节的能源消耗与旅游废弃物处置。碳汇是自然界中碳的寄存体，表现为陆地与海洋等吸收并储存 CO₂的生态系统。根据生境特点，又分为森林碳汇、耕地碳汇、草地碳汇、湿地碳汇、海洋碳汇等^[18]。乡村旅游地位于广阔的乡村地区，拥有优美的自然景色、恬静的田园风光、绿色的农副产品与质朴的农耕文化，典型的乡村景观，如桑基鱼塘、梯田系统、稻田养鱼、圃制农业等蕴含着完整的生态循环、生产循环与环境保护功能^[19]。实际上，乡村旅游地自然空间网络表现为陆地生态系统中的农田、林地、草地、湿地等共同的有机组成。

2.2 估算的方法

根据前述，乡村旅游地净碳排放是“碳源”的排放与“碳汇”的吸收之后释放到大气中的 CO₂，构建出计算公式：

$$NCE = CE - CS \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

式中，NCE (Net Carbon Emission) 表 7K 净碳排放，CE (Carbon Emission) 表 7TC 碳排放，CS (Carbon Sequestration) 表示碳吸收。

碳排放估算方法：碳排放由碳基能源消耗与固体废弃物焚烧两部分构成，采用 IPCC 《2006 年国家温室气体清单指南》中推荐的质量平衡法，通过获取旅游相关的“碳基能源消耗”与“固体废弃物”产生量的活动水平数据和确定排放因子及相关参数进行计算，公式为：

$$CE_{energy} = \sum Activity_i \times \delta_i \times 2.45 \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$CE_{waste} = \sum IW_i \times dm_i \times CCW_i \times FCF_i \times EF_i \times 44/12 \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

式中，CE_{energy} 表示碳基能源消耗的 CO₂ 排放；Activity_i 表示旅游部门消耗的 i 种碳基能源数据，本文通过实地调查获取； δ_i 表示 i 种能源折算成的标准煤系数（表 1），2.45 为单位标准煤 CO₂ 排放系数，取已有研究中经验数值的平均数^[2]。CE_{waste} 表示旅游地固体废弃物的 CO₂ 排放量；IW_i 表示第 i 种固体废弃物的焚烧量（湿重）；dm_i 表示第 i 种固体废物中的干物质含量（湿重）；CCW_i 表示第 i 种固体废弃物干物质中的碳含量比例；FCF_i 表示第 i 种固体废弃物中矿物炭在碳总量中的比例；EF_i 表示第 i 种固体废弃物焚烧炉的完全燃烧效率；44/12 表示碳转换为 CO₂ 的系数。

表 1 各种能源折标准煤参考系数

能源类型及名称	折标准煤系数	能源类型及名称	折标准煤系数
化石能源		生物质能	
原煤	0.7143kg 标准煤/kg	大豆杆、棉花杆	0.543kg 标准煤/kg
焦炭	0.9714kg 标准煤/kg	麦秆	0.500kg 标准煤/kg
汽油	1.4714kg 标准煤/kg	玉米杆	0.529kg 标准煤/kg
柴油	1.4571kg 标准煤/kg	杂草	0.471kg 标准煤/kg
液化石油气	1.7143kg 标准煤/kg	树叶	0.500kg 标准煤/kg
天然气	1.3300kg 标准煤/m ³	薪柴	0.571kg 标准煤/kg
电力	0.1229kg 标准煤/kW·h	沼气	0.714kg 标准煤/m ³

注：资料来源于综合能耗计算通则（GB2589-2008）和2012年的《中国能源统计年鉴》。

乡村旅游地固体废弃物主要包括旅游者丢弃的食品包装袋、饮料瓶、纸屑；旅游经营者产生的餐余、塑料、纸张、灰烬、污垢；社区居民日常生活垃圾等。参照IPCC《2006年国家温室气体清单指南第五卷：废弃物》可取“城市固体废弃物（MSW）”的估算参数，见表2。

表 2 乡村旅游地固体废弃物主要构成与焚烧碳排放估算参数

主要构成	碳含量 (CCW, %)	矿物炭含量 (FCF, %)	燃烧效率 (EF, %)
食品包装袋、饮料瓶、餐余、塑料、灰烬、污垢、居民生活垃圾	湿重：33-35 缺省值：40	30-50 缺省值：40	焚化：95-99（缺省值：95） 露天燃烧：49-67（缺省值：58）

碳吸收估算方法：本研究估算了乡村旅游地陆地生态系统绿色植被及农业作物光合作用的碳吸收，其中固碳的植被覆盖土地类型分为林地、草地、绿地、园地，采用已有的CO₂吸收参数估算^[20]。农业作物碳吸收参照李克让^[21]的估算方法，采用不同农作物经济系数和碳吸收率计算。

$$CS_{vegetation} = \sum C_{veg-i} \times Area_{veg-i} \quad (4)$$

$$CS_{crop} = \sum CS_{crop-i} g44/12 = \sum C_{crop-i} \times Y_{bio-i} g44/12 \quad (5)$$

$$Y_{bio-i} = Y_{eco-i} / H_{crop-i} \quad (6)$$

式中，CS_{vegetation}表示绿色植被光合作用的碳吸收总量；C_{veg-i}表7K第i种植被的碳吸收系数（表3）；Area_{veg-i}表不第i种植被地类面积；CS_{crop}表示农作物生育期碳吸收量；CS_{crop-i}表示第i种植作物碳吸收量；C_{crop-i}表示第i种植作物光合作用合成单位重量干物质碳吸收系数（表4）；Y_{bio-i}为第i种植作物的生物产量。通过式（6）计算，Y_{eco-i}为第i种植作物的经济产量，通过统计年鉴查取，H_{crop-i}为第i种植作物的经济系数（表4），44/12表示碳转换为CO₂的系数。

表 3 主要用地类型覆被碳吸收系数

覆被类型	林地	草地	绿地	园地
碳积累速率 (tCO ₂ /hm ² • a)	13.9685	3.476840	6.09	4.656168

注：资料来源于相关参考文献^[20]。

表 4 中国主要农作物的碳吸收率和经济系数

作物名称	碳吸收率	经济系数	作物名称	碳吸收率	经济系数
水稻	0.4144	0.45	薯类	0.4226	0.65
小麦	0.4853	0.40	豆类	0.4500	0.35
玉米	0.4709	0.40	花生	0.4500	0.43
油菜	0.4500	0.25	甘蔗	0.4500	0.50
棉花	0.4500	0.10	甜菜	0.4072	0.70
向日葵	0.4500	0.30	烟草	0.4500	0.55
高粱	0.4500	0.35	其他粮食作物	0.4500	0.40
谷子	0.4500	0.40			

注：资料来源于相关参考文献^[21]。

3、案例地概况与研究数据获取

查济古村落位于安徽省泾县桃花潭镇，国家 4A 级景区，距桃花潭约 20km，东南紧靠太平湖，与黄山接壤，西与九华山毗邻，全村总面积 19.22km²，全村人口 3018 人、855 户。2001 年查济古村落被国务院列为重点文物保护单位，2006 年被评为“安徽省生态村和安徽省历史文化名村”，2007 年被中国景观村落评审委员会评为“中国景观村落”，2008 年被批准为“中国历史文化名村”，2012 年入选首批中国传统村落名单，是皖南最大的古民居群。

2016 年 7 月 10-16 日我们深入实地调查，查济风景区管理委员会提供了《中国历史文化名村查济保护规划（2013-2030）》、《查济风景区创建国家 4A 级旅游景区工作情况汇报材料》、《全国生态文化村申报材料》，这些是分析查济旅游资源和旅游业发展脉络的基础材料。查济村委会提供了查济行政村土地利用现状数据，是估算碳吸收的基础材料。实地抽样调查获取旅游经营企业能源消耗数据，访谈村委会工作人员获取垃圾产生数据与处理方式，是估算碳排放的基础材料。

4、查济古村落旅游净碳排放估算

4.1 食宿碳排放估算

查济古村落的食宿服务统一为当地居民经营的家庭客栈，能源消耗数据无法分开，因此本研究将食宿作为一个整体进行估算。访谈查济旅馆行业协会会长得知，查济客房分为两种：一是接待写生学生为主的连铺或高低铺，设施能满足人们生活基本所需；二是接待写生指导老师和散客的标准间为精装，客房间数相对较少。目前，查济客栈有 41 家，床位数约 1500 个。抽样调查获取其中 23 家客栈能源消耗数据与经营情况见表 5。查济农家客栈能源消耗类型主要有电力、液化气、薪柴。根据式（2），估算出 2015 年查济食宿部分消耗标准煤 101931.966kg，排放 CO₂49.733t。

表5 住宿餐饮各类能源消耗与人均碳排放强度（2015年）

序号	名称	床位 (个)	入住率 (%)	电力 ^① (kW·h)	液化气 ^② (kg)	薪柴 ^③ (kg)	折算成标 准煤 (kg)	碳排放量 (kg)
1	翠红客栈	50	45	9806	156	4750	4184.838	10252.85
2	云云宾馆	60	35	9748	234	5000	4454.175	10912.73
3	同茂客栈	18	55	4272	130	25(8)	2175.388	5329.7
4	俊媛客栈	80	40	10920	234	5000	4598.214	11265.62
5	徽乡浓客栈	28	55	5304	260	4000	3381.58	8284.87
6	古风客栈	20	60	4912	130	3750	2967.794	7271.095
7	响水居客栈	40	55	5980	234	4250	3562.838	8728.954
8	凤赛堂客栈	16	60	3262	130	1500	1480.259	3626.634
9	查村饭店	75	50	12404	312	6000	5485.313	13439.02
10	广茂源客栈	24	62.5	3712	130	1000	1250.064	3062.656
11	香铺客栈	25	75	9466	624	2000	3375.095	8268.982
12	瑞凝客栈	18	45	4144	234	1250	1624.194	3979.275
13	福泽源山庄	20	55	6506	234	2000	2342.734	5739.697
14	钟秀饭店	100	55	12544	468	5000	5198.95	12737.43
15	九狮客栈	26	65	5504	130	1225	1598.776	3917
16	香樟树客栈	60	60	6840	234	2500	2669.282	6539.741
17	文德阁	120	45	9023	546	6250	5613.685	13753.53
18	天申桥客栈	24	55	5384	234	1375	1847.965	4527.514
19	泾三角客栈	100	35	7374	357.5	2250	2803.877	6869.498
20	查济山庄	60	45	8350	325	4500	4152.863	10174.51
21	四景客栈	24	50	6992	234	1000	1831.463	4487.084
22	许溪客粹	20	65	4824	318.5	750	1567.124	3839.454
23	品味查济	18	72.5	5904	234	750	1554.998	3809.745
合计		1026		163175	6123	68600	69721.47	170817.6
户均值		45	53.91	7094.565	266.2173	2982.609	3031.368	7426.852
人均值							0.345348	0.8461

注：①电力数据通过访谈查济村电表抄报员获取；②、③为液化气和薪柴消耗数据，每罐液化气按13kg估算。

4.2 购物碳排放估算

购物碳排放是指旅游商品销售能耗的直接碳排放，不包括商品生产、流通过程中的间接碳排放。查济村购物点集中在旅游主要线路的商业街与许溪沿街，主要销售写生绘画用品用具、日常生活百货用品、特色旅游纪念品，面向游客与当地居民销售。根据统计，旅游商品店铺共23家，耗能为电力，主要用于照明、冰柜制冷、空调等。根据2015年查济村电力数据，提取出旅游商品销售住户的用电数据（表6），户均为1210kW·h/a，23家共计27830kW·h，折算标准煤3420.307kg，排放CO₂8.381。需说明的是，由于查济村目前尚处于旅游地生命周期的早期阶段，相关旅游服务产品由本地居民提供，旅游商品销售表现出“前店后院”形态，因此本文估算值高于实际值。

表 6 查济古村落购物娱乐电力消耗数 (2015 年)

类型	户名	资产号	分月度电力消耗数据 (kW·h)												
			1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
购物类	查 GL	2563	52	80	70	47	45	28	121	100	40	86	50	70	789
	查 CL	2567	67	80	92	74	70	100	150	100	112	130	70	115	1160
	查 LG	3322	60	75	70	90	100	90	210	330	110	95	85	100	1415
	查 JP	3635	90	80	95	70	78	80	147	142	99	107	100	122	1210
	查 LX	3638	142	143	125	138	100	171	229	185	204	140	131	202	1910
	查 XB	3641	106	98	65	54	58	67	70	145	128	134	128	122	1175
	查 LC	4058	48	52	43	70	60	67	89	78	73	83	59	91	813
	均值		80.7	86.9	80	77.6	73	86.1	145.1	154.3	109	110.7	89	117.4	1210
娱乐类	朱 CG	2621	194	139	75	215	381	217	293	265	114	200	106	123	2322
	黄 SX	2627	140	105	220	273	368	131	100	127	195	251	187	210	2307
	查 HT	3929	180	101	101	291	267	181	119	156	151	353	150	151	2201
	均值		171	115	132	260	339	176	171	183	153	268	148	161	2278

4.3 娱乐碳排放估算

查济村旅游娱乐业态主要分布在商业街中的 KTV 歌厅，消费群体以写生的学生为主，也有当地居民。根据统计，KTV 歌厅共有 8 家，能耗为电力。数据获取与“购物”相同，见表 6。数据显示，娱乐业能耗呈现出季节性，4 月、5 月、10 月为高峰值，原因在于该时段为专业院校写生最集中月份，与游客的季节性分布相关。从表 6 可见，娱乐业态户均电力能耗为 $2278 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ ，8 家共计 $18224 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，折算标准煤为 2239.7296 kg ，排放 $\text{CO}_2 5.487 \text{ t}$ 。

4.4 管理碳排放估算

根据 Kelly 等的研究^[22]，本文估算的管理碳排放包括工作人员通勤碳排放与办公能耗碳排放。2002 年，泾县厚岸乡政府牵头与查济三个村以股份制形式组建了“查济古建筑群旅游开发公司”；2005 年，泾县县政府设立“泾县王稼祥故居管理委员会、泾县查济古民居保护和开发利用办公室”，两块牌子一套人马，负责王稼祥故居和查济建筑群开发与保护，查济村旅游业走上了“政府主导、企业运作”的发展模式。管委会位于泾县厚安乡，距查济约 5.3km，在编 5 人，通勤区间为“泾县—厚安”（5 人），“厚安—查济”（2 人），方式为搭乘“泾县—查济”或“厚岸—查济”的班车。旅游公司位于景区人口处，现有员工 37 名，此部分忽略不计。通勤的碳排放属于移动源能源消耗排放，一般采用客运汽车 CO_2 排放强度 $0.0709 \text{ kg/p} \cdot \text{km}$ ^[23]，全年工作日按 270 天计，估算出通勤碳排放为 9.652 t 。据查济古民居保护和开发利用办公室提供的数据，2015 年管委会消耗电能为 $4375 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，旅游公司消耗电能 $7835 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，景区路灯消耗电能 $2464 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，合计电能消耗 $14674 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，折算成标准煤量为 1803.43 kg ，排放 CO_2 为 4.418 t 。两者合计，管理碳排放为 14.07 t 。

4.5 旅游垃圾碳排放估算

填埋与焚烧是目前固体废弃物处理较常见的两种方式，其中垃圾焚烧处理产生大量 CO_2 。查济村固体废弃物处理过程见图 1。固体废弃物经过简单分拣，剩余的原生垃圾由“村收集、镇转运、市县处理”，最终送至露天垃圾场焚烧处理，为“混合收集—混合清运—混合处理”的传统方法。垃圾产生量随着旅游淡旺不同而异，旺季每天约产生约 4 车垃圾，淡季每天产生 2.5 车，每车约 1.5–2t（表 7）。据式（3），估算出固体废弃物焚烧释放 $\text{CO}_2 616.308 \text{ t}$ 。

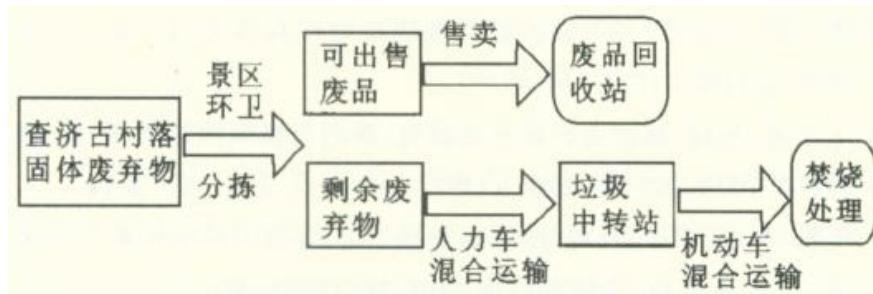


图 1 查济古村落固体废弃物处理流程

表 7 查济古村落固体废弃物焚烧处理碳排放估算 (2015 年)

旺季 (4 月、5 月、10 月)	每日清理量		固体废弃物 总重量 (t/a)	CO ₂ 排放量 (t/a)
	淡季 (其他月份)	4 车 约 1.5-21/车		
			1811.25	616.308

注: 每辆垃圾运输车载重取中位数 1.75t。

4.6 碳汇的碳吸收量估算

从《中国历史文化名村查济村保护规划 (2013-2030)》中获取查济古村落碳汇型土地利用类型与面积, 根据式 (4), 分别估算林地、园地、公共绿地土地覆被光合作用 CO₂ 吸收量 (表 8)。查济村农田分为坂田和山田两类, 坂田居多 (约 70%), 三条溪流贯穿其间, 以水稻种植为主。根据 2016 年的《安徽统计年鉴》, 查获 2015 年宣城市以水稻为代表的谷物单位面积经济产量 5.838hm², 根据式 (5)、式 (6), 按 70% 的耕地面积计算, 查济村碳汇型土地覆盖碳吸收共计 2007.534t。

表 8 查济古村落碳汇型土地利用面积与 CO₂ 吸收量 (2015 年)

类型	林地	耕地		园地		公共 绿地	合计
		(70%坂田)	茶园	竹园			
面积 (hm ²)	59.01	72.63	23.33	13.33	1.7	170	
CO ₂ 碳吸收量 (t)	824.281	1002.205	108.628	62.067	10.353	2007.534	

表 9 查济古村落净碳排放量

项目	数值 (tCO ₂)	比重 (%)
碳排放总量:	893.978	100
食宿碳排放量	249.733	27.93
购物碳排放量	8.38	0.94
娱乐碳排放量	5.487	0.61
管理碳排放量	14.07	1.57
垃圾焚烧碳排放量	616.308	68.94
碳吸收总量:	2007.534	100

林地植被光合作用碳吸收量	824.281	41.06
绿地植被光合作用碳吸收量	10.353	0.52
园地植被光合作用碳吸收量	170.695	8.5
农作物生育期碳吸收量	1002.205	49.92
净碳排放量	-1113.56	

4.7 数据汇总

从表 9 可见, 2015 年查济古村落碳排放与碳吸收, 两者相减得出净碳排放值为-1113.556t, 表明 2015 年查济古村落旅游碳排放量小于陆地生态系统碳吸收量, 表现为大气碳汇。原因是: ①查济古村落尚处于旅游地发展的初始阶段, 游客相对较少, “食宿”刚性旅游消费的碳排放少; ②查济古村落地处皖南山区, 山林多, 具有较高的碳吸收能力, 加之村民仍从事传统的农业生产, 农作物生育期吸收大量 CO₂, 源汇收支相抵, 查济古村落净碳排放为负值。

5、查济古村落减碳增汇分析

5.1 减碳分析

从表 9 可见, 查济古村落碳排放 68.94% 来自垃圾焚烧, 27.93% 来自食宿接待部门能源消耗, 两者合计占整体的 96.87%, 是查济古村落减碳的关键领域。从旅游垃圾处置过程看, 查济古村落仍为传统的“混合收集—混合清运—混合处置”模式, 不利于旅游垃圾减量化、再利用与资源化, 增加了旅游垃圾处理量和成本, 也增加了资源回收难度。理想的处理模式是根据垃圾成分进行分类: 可回收物、可堆肥垃圾、可燃垃圾、有害垃圾、其他垃圾等, 通过“分类投放、分类收集、分类运输、分类处理”, 最大限度地实现垃圾减量化、无害化、资源化, 将垃圾管理由末端处理延展至源头减量、分类控制。实地发现, 查济古村落主要旅游线路上设置有分类垃圾箱, 分为“可回收”与“不可回收”, 但游客丢弃垃圾仍十分随意, 并不严格区分。环卫工人在收集时分拣出能出售的饮料瓶、纸张, 其他均混合收集, 并混合运输至垃圾转运站, 最终混合焚烧处理。粗放的处理方式, 一方面使焚烧的垃圾量大, 产生大量 CO₂; 另一方面其中可再利用部分被付之一炬, 资源浪费严重。因此对旅游地而言, 加强宣传与管理, 提高游客的环境意识, 从源头上减少垃圾产生, 真正践行垃圾分类投放, 才能使“分类收集—分类运输—分类处理”成为可能。

从食宿部门消耗的能源类型看, 主要有电力、液化气和薪柴, 查济古村落主要使用罐装液化气、薪柴, 两者比重大。液化气属于化石能源, 碳排放强度高; 山区薪柴多, 直接燃烧的 CO₂ 排放较高。因此, 减少食宿碳排放可从调整能源消耗结构, 提高清洁能源的比重, 采用清洁能源替代化石能源, 改进生物质能利用方式, 提高利用效率, 减少碳排放。

5.2 增汇分析

从表 9 可见, 查济古村落碳吸收 41.06% 来自林地植被光合作用, 49.92% 来自农作物生育期固碳, 两者合计占整体的 90.98%, 补偿了旅游碳排放后, 碳吸收尚有盈余。因此, 就查济古村落而言, 增汇实际上表现为护汇, 严格保护村落旅游体验环境中的碳汇资源, 并根据村落空间相应地植人碳汇资源要素。主要是: ①严格保护村落旅游体验环境中的碳汇资源。古徽州人在村落选址时多选择在“山厚、山青、山宁、水秀”的区域^[24]。查济古村落人均耕地面积少, 许溪、岑溪、石溪三条溪水流贯其间, 村民每年种植水稻, 部分山岗地用于经济作物生产, 如茶叶、竹笋、板栗等, 农林用地共同构成了查济古村落旅游体验环境, 是可贵的碳汇资源。但随着村落发展旅游, 原生及次生碳汇资源保护不力: 如灌木、林木被砍伐作为薪柴; 客栈新建、扩建, 改变了原有的碳汇型土地利用方式; 村民从事旅游服务业, 逐渐放弃农业生产, 次生碳汇资源萎缩。解决这些问题需要管理人们的通力合作, 采取相关制约性措施(如制定村规民约, 严禁砍伐、盗伐)与激励性措施(旅游收入补贴水稻、油菜种植),

保护作为旅游体验环境的碳汇资源。②因地制宜地植入碳汇资源。根据村落的地形地貌、空间形态、古建筑肌理，通过规划手段，因地制宜地植入绿色碳汇资源，培育“村在绿中”的碳汇旅游体验环境。一方面营造出悦目的感官体验效果，提高游客体验质量；另一方面发挥固碳的生态服务功能。可借鉴景观规划设计中的植绿技术，通过“四旁绿化”与“立体绿化”相结合，提高乡村碳汇密度，美化村落环境。

6、结论与讨论

本文从“源”、“汇”两端构建出乡村旅游地净碳排放估算模型，集成估算方法，估算出2015年皖南查济古村落旅游碳排放量小于陆地生态系统碳吸收量，表现为大气的碳汇。净碳排放估算旨在为寻求碳补偿路径提供依据。定量分析查济古村落碳排放与碳吸收的结构特征，发现垃圾焚烧和食宿能源消耗是减碳的重要领域，林地与耕地是增汇护汇的重要领域，因此提出相关减碳增汇对策。在减碳方面，通过教育和管理的手段，从源头减少垃圾产生，并为分类投放，为分类收集、分类运输、分类资源化处理提供方便；优化能源使用结构，采用传统村落适宜的低碳和清洁能源，逐渐替代碳基能源。在增汇护汇方面，严格保护村落旅游体验环境中的碳汇资源；引入景观规划中的“四旁绿化”，根据村落的自然气候、地形地貌、空间形态、古建肌理，因地制宜地植入碳汇资源。

[参考文献]：

- [1] Scott D, Amelung B, Becken S, et al. Climate Change and Tourism: Responding to Global Challenges[R]. Madrid: UNWTO, 2008: 25-27.
- [2] 谢园方, 赵媛. 长三角地区旅游业能源消耗的CO₂排放测度研究[J]. 地理研究, 2012, 31 (3) : 429-438.
- [3] 陶玉国, 张红霞. 江苏旅游能耗和碳排放估算研究[J]. 南京社会科学, 2011 (8) : 151-156.
- [4] 丁雨莲, 赵媛. 旅游业碳源系统研究：横向与纵向两维视角[J]. 地理科学, 2013, 33 (10) : 1188-1193.
- [5] 王凯, 肖燕, 李志苗, 等. 中国旅游业CO₂排放区域差异的空间分析[J]. 中国人口. 资源与环境, 2016, 26 (5) : 82-90.
- [6] 王志民. 镇江“三山”风景区旅游碳排放测度研究[J]. 地域研究与开发, 2016, 35 (1) : 156-161.
- [7] 章锦河. 旅游废弃物生态影响评价——以九寨沟、黄山风景区为例[J]. 生态学报, 2008, 28 (6) : 2764-2733.
- [8] 唐承财, 钟林生, 成升魁. 我国低碳旅游的内涵及可持续发展策略研究[J]. 经济地理, 2011, 31 (5) : 862-867.
- [9] 查建平. 中国低碳旅游发展效率、减排潜力及减排路径[J]. 旅游学刊, 2016, 31 (9) : 101-112.
- [10] 于贵瑞, 王秋凤, 朱先进. 区域尺度陆地生态系统碳收支评估方法及其不确定性[J]. 地理科学进展, 2011, 30 (1) : 103-113.
- [11] 赵荣钦, 秦明周. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23 (2) : 1-6, 11.
- [12] 段晓男, 王效科, 逯非, 等. 中国湿地生态系统固碳现状和潜力[J]. 生态学报, 2008, 28 (2) : 463-473.

-
- [13] 张颖, 吴丽莉, 苏帆, 等. 森林碳汇研究与碳汇经济[J]. 中国人口·环境与资源, 2010, 20 (3) : 288-291.
- [14] 郭然, 王效科, 逯非, 等. 中国草地土壤生态系统固碳现状和潜力[J]. 生态学报, 2008, 28 (2) : 862-867.
- [15] 丁雨莲. 乡村旅游地碳汇资源的构成、特征与碳汇价值研究[J]. 安徽农业大学学报(社会科学版), 2016, 25 (1) : 27-32.
- [16] 王志民, 张新林, 邱小樱. 基于碳中和的旅游景区净碳排放估算与低碳景区建设——以镇江“焦山”风景区为例[J]. 南京师范大学学报(自然科学版), 2016, 39 (4) : 107-113.
- [17] 周年兴, 黄震方, 梁艳艳. 庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡[J]. 生态学报, 2013, 33 (13) : 4134-4145.
- [18] 谢高地, 李士美, 肖玉, 等. 碳汇价值的形成和评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26 (1) : 1-10.
- [19] 冯娴慧, 戴光全. 乡村旅游开发中农业景观特质性的保护研究[J]. 旅游学刊, 2012, 27 (8) : 104-111.
- [20] 何勇. 中国气候、陆地生态系统碳循环研究[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 713-726.
- [21] 李克让. 土地利用变化和温室气体净排放和陆地生态系统碳循环[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [22] Kelly J, Williams P W. Modeling Tourism Destination Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions: Whistler, British Columbia, Canada[J]. Journal of Sustainable Tourism, 2007, 15 (1) : 67-90.
- [23] 李鹏, 杨桂华, 郑彪, 等. 基于温室气体排放的云南香格里拉旅游线路产品生态效率[J]. 生态学报, 2008, 28 (5) : 2207-2219.
- [24] 陆林, 凌善金, 焦华富, 等. 徽州古村落的景观特征及机理研究[J]. 地理科学, 2004, 24 (6) : 660-665.