

文章编号: 1674-5566(2024)01-0161-11

DOI: 10.12024/jsou.20230304126

基于EOD模式的田园综合体碳平衡初步研究

杜胜男¹, 马郝佳¹, 刘静^{2,3}, 李娟英^{1,4}, 陈以芹¹, 何文辉^{1,4,5}

(1. 上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306; 2. 自然资源部大都市区国土空间生态修复工程技术创新中心, 上海 200003; 3. 上海建设用地和土地整理事务中心, 上海 200003; 4. 上海河湖生物链构建与资源化利用工程技术研究中心, 上海 201702; 5. 上海太和水科技发展股份有限公司, 上海 200433)

摘要: 中国正在不断推进农村绿色经济转型与乡村振兴战略, 田园综合体等各种以生态环境为导向的农业开发模式是乡村振兴建设的新途径, 驱动农业固碳减排的同时, 也带动着传统农业不断向现代农业发展的转变。以生态环境为导向的开发(Ecology oriented development, EOD)模式的上海市金山区枫泾镇郊野村庄田园综合体为研究对象, 在现场调研与数据统计的基础上, 分析了园区内的碳输入和碳输出以及碳在园内各区域间的流动和储积; 同时, 根据碳源和碳汇清单的估算结果, 分析了田园综合体各区的碳平衡特点。结果显示, 上海市金山区郊野村庄田园综合体2021年碳平衡表现为净碳汇区, 净碳汇量为152.09 tC, 其中排放量为588.79 tC, 碳固定量为740.88 tC。田园综合体内, 作物种植区通过低碳有机种植模式成为净碳汇量最大的区域, 净碳汇量为185.76 tC; 水产养殖区通过高效的水草多级循环利用模式净碳汇量达62.20 tC; 高空间利用率的立体农业区因农肥的碳排放量大表现为碳源区, 净碳汇量为-10.81 tC; 生产生活区是最大的碳源区, 净碳汇量达-85.05 tC, 人类文旅活动是其中最大的碳排放源。分析结合该田园综合体的碳流动, 提出了发展高物质循环利用率、高空间利用率、低碳有机种植模式和农业科学管理4个农业降碳增汇的方向。

关键词: EOD模式; 田园综合体; 碳平衡; 农业碳汇
中图分类号: F 327; X 322 **文献标志码:** A

随着全球气候异常加剧, 应对温室气体导致的气候变化已成为全球共识。作为世界上最大的碳排放国和负责任的大国, 中国在气候峰会上做出了削减碳排放的庄严承诺, 制定了2030碳达峰和2060碳中和的目标。双碳目标的实现需要经济和社会的系统性变革, 而农业是支撑国民经济的基础产业, 既是温室气体主要排放来源之一, 又承担着关键的碳汇角色。农田生态系统每年的CO₂排放量为15亿t, 占全球排放量的30%^[1]。自1993年以来, 中国农业碳排放总量和排放强度的年均增速分别为4.08%和2.38%^[2]。因此, 充分发挥农业减排固碳潜力是实现双碳目标的重要途径^[3], 也是现代农业发展的重要方向^[4]。

在乡村振兴国家战略背景下, 国家发改委推行的EOD模式田园综合体, 是将社会-经济-环境多维

度结合^[5], 利用生态资源促进绿色农业转型, 践行低碳发展的现代农业典范^[6]。中国在不断推进农村绿色经济转型与乡村振兴战略的同时, 田园综合体等各种以生态环境为导向的农业开发模式是乡村振兴建设的新途径, 驱动农业固碳减排的同时, 也带动着传统农业不断向现代农业发展的转变。国外对田园综合体的研究聚焦在发展模式和景观建设, 致力于将乡村经济和景观保护融入田园综合体的规划和景观设计中^[7-8], 凭借完善的基础设施、公共服务以及政府大力支持, 吸引消费者到农场消费^[9]。国内关于田园综合体的研究集中在两方面, 一方面是发展模式, 围绕乡村振兴^[10-13]、农业发展^[14-16]和农村经济^[17-18]等展开; 另一方面是田园综合体的规划设计, 围绕综合发展^[19-20]和乡村景观^[21-23]展开。国内外对田园综合体的研究在模式

收稿日期: 2023-03-26 修回日期: 2023-05-16

基金项目: 自然资源部大都市区国土空间生态修复工程技术创新中心开放性创新项目(CXZX202208); 浙江省亚热带作物研究所业务专项(D-8006-22-0162)

作者简介: 杜胜男(1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农业碳排放。E-mail: dusn199808@163.com

通信作者: 李娟英, E-mail: jyli@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

和规划理论较多,而对于田园综合体中的减排固碳和生态产品的研究较少,尤其是田园综合体中的碳流动与碳平衡的研究几乎没有。

碳平衡核算是减排固碳的基础,小区域的碳平衡奠定了大区域碳中和的基础^[24]。通过碳平衡核算找到降碳增汇的关键环节,有针对性地改进现代农业模式,并推广低碳农业生产体系,是现代农业实现降碳增汇的一大突破点^[25]。国内外学者对乡村及以上区域的农业碳平衡研究已有开展,主要集中在碳平衡计算^[26-28]、生态补偿^[29-30]以及区域土地利用对碳平衡的影响^[31-33]等方面,大区域尺度碳平衡的基本概念和计算模型在应用边界和条件确定之后,原则上可以指导田园综合体碳平衡的计算。

随着碳排放研究的深入和碳核算的不断细化,探究田园综合体的碳平衡是实现农业低碳可持续发展的必然需求。因此,本文以发改委资助的第一批上海金山区枫泾镇郊野村庄田园综合体为研究对象,在分析田园综合体碳流动的基础上,进行了田园综合体内碳的源汇估算,并分析了园

内各区域的碳平衡特征,最后结合各区碳排放特点提出了推进现代农业产业模式降碳增汇的几点建议,为区域协调推进碳减排工作提供参考,同时助力“双碳”目标与乡村振兴国家战略的实现。

1 田园综合体概况

本研究中的田园综合体位于上海市金山区枫泾镇,占地面积近 75 hm²,距离市区 40 km。该项目于 2021 年 4 月入选生态环境部与发改委联合发布的首批 EOD 试点,以耕地资源和现代农业设施为基础进行综合开发,倡导低碳和生态的理念,强调农业资源循环利用,将传统农业与现代农业相结合,是实施乡村振兴战略的重要示范。该模式的田园综合体集“城市依托、产业主导、景田一体”3 种模式于一体(图 1),服务上海市民对郊野旅游体验、新鲜瓜果蔬菜采摘以及休闲垂钓等需求,依托在水体生态修复和清水养殖领域的特色优势,通过输出绿色有机食品,辅以游客观光、休闲垂钓、农家乐餐饮、瓜果采摘、精油花海观光等活动,实现农旅融合一体化低碳农业发展模式。

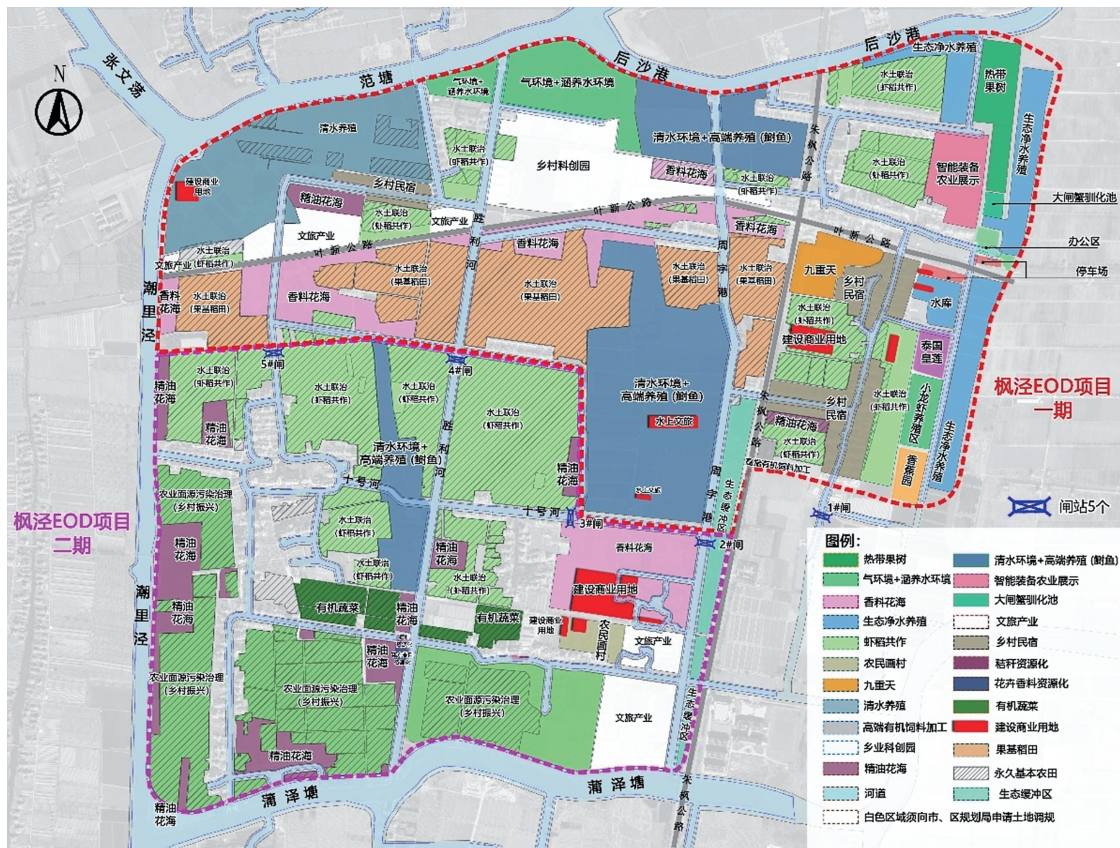


图 1 金山区枫泾镇郊野村庄田园综合体规划平面图

Fig. 1 Planning plan of the Fengjing Town Countryside pastoral complex in Jinshan District

该田园综合体可分为清水养殖区(蓝色区域,生态净水与清水养殖,30 hm²)、作物种植区(浅绿色、橙色和紫色区域,虾稻共作、果基稻田、精油花海与香料花海,20 hm²)、立体农业区(深绿色区域,包括有机蔬菜与热带果树,20 hm²)等环境子系统的农业产业区;垂钓、采摘、观光等社会子系统的文旅产业区(白色区域,文旅产业,2.5 hm²);以及生态产品品尝、加工烹饪、打包等经济子系统的乡村科创区域和乡村民宿(红色区域、粉色区域,建设商业用地、智能装备农业展示,2.5 hm²)。环境-社会-经济3维子系统构成复合生态田园综合体,形成集种养、文旅和加工于一体的有机农业产业链。

2 田园综合体碳平衡分析

2.1 碳输入与碳输出

识别碳流动是评估碳平衡的基础,直接与大气交换的碳是垂直流动碳,其他形式的是水平流动碳^[34]。本研究中垂直流动碳来自绿色植物光合作用固碳(如清水养殖区的水草固碳、立体农业区的果蔬固碳、作物种植区的经济作物固碳以及虾稻共作的水稻固碳等)、水域碳沉降和储存吸收固碳(表1);水平方向上碳以电力、农药农肥等生产资料形式从外界输入到田园综合体中。在垂直碳输出端,通过植被呼吸、水域和土壤中的微生物呼吸释放气态碳;产品加工、农业和养殖业中的电力投入、农药农肥等生产资料输入碳以气态的形式进入大气或者固存到含碳产品中,制冷设备冷媒排放的碳以气态的形式直接进入大气;文旅活动和居民生活中的碳直接以气态的形式进入大气。水平方向以含碳产品和含碳废弃物的形式输出。

2.2 碳流动与碳储存

以有机或无机形式输入到田园综合体的碳将在物理、化学和生物作用下,在环境、经济和社会子系统之间流动并发生储积(图2)。固碳减排最显著的是环境子系统,首先,面积占比最大的清水养殖池塘底部种植的越冬水草,不仅可以作为碳汇存在,同时充当了水生动物(如小龙虾)的食物,减少了饲料鱼饵(1.5 kg 饲料/kg 水产品^[35],160 t 水产品/年)等外部碳源投入;同

时,水草对氮磷营养盐的原位吸收净化了池塘水质,省去了养殖尾水处理装置(养殖水量450 000 m³),显著降低了清水养殖区的碳排放量^[36];部分水草沤肥和养殖粪便残渣等有机肥循环利用到作物种植区(果基稻田、虾稻共作、精油花海和香料花海),改良土壤性质的同时,也减少氮肥(106.7~208.1 kgN/hm²^[37],20 hm²)等外部农资碳源投入和土壤中N₂O排放^[38],物质多重循环利用不仅加强了碳流动,也起到了显著的碳减排作用^[36]。其次,作物种植区的精油花海和香料花海中的香蒲、薄荷等药用植物被移栽到田园综合体的所有角落,这些作物兼具防治病虫害的作用,因此减少了农药(1.6~3.3 kg/hm²^[37],20 hm²)碳的排放。果基稻田与虾稻共作模式中的果基能够提高土壤肥力,虾稻共作有利于提高土壤固碳能力^[39]。虾稻共作模式单位产值的碳足迹比水稻单作模式低81.4%,显著降低CH₄的排放^[40-41]。立体农业区通过底部喂养小龙虾,中间种植有机果蔬,上部分布种植热带水果,突出产品特色的同时大大提高空间利用率,果蔬凋落为小龙虾提供食物,同时小龙虾粪便为果蔬种植提供肥料,减少小龙虾饲料投入的同时也降低了蔬菜和水果的肥料使用量,最大程度减少碳排放并利用田园综合体的碳储积潜力。

表1 田园综合体的碳输入与输出
Tab. 1 Carbon input and output of the pastoral complex

流动方向 Directions of flow	碳输入 Carbon input	碳输出 Carbon output
垂直碳流动 Vertical carbon flow	绿色植物光合作用	植物呼吸作用碳释放
	水域碳沉降和储存	水域和土壤微生物呼吸作用碳释放
		产品加工、农业和养殖业中的耗电碳释放
		农药农肥等生产资料碳释放
		制冷设备冷媒碳排放 文旅活动和居民生活碳排放
水平碳流动 Horizontal carbon flow	电力	含碳产品
	农肥	含碳废弃物
	材料用具	
	鱼苗 虾苗	

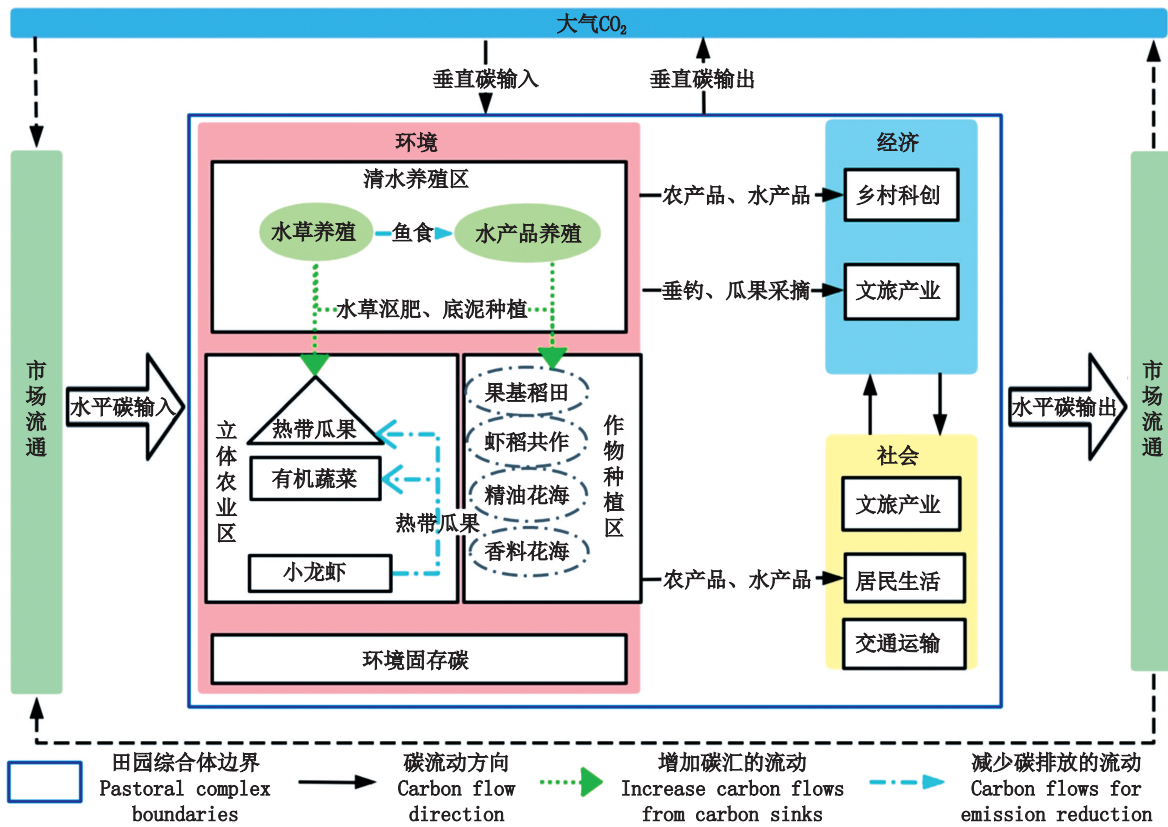


图2 田园综合体内的碳流动
Fig. 2 Carbon flow in the pastoral complex

2.3 碳平衡分析

2.3.1 碳源估算

本研究基于IPCC的排放因子法^[42],即活动水平和相关活动的排放因子的乘积,来计算活动碳排放量(表2)。活动水平数据(2021年)来自该田园综合体的运营主体——上海开太鱼文化发展有限公司的官方披露^[43],排放因子中电力排放因子来源于生态环境部^[44],其他分别来源于Ecoinvent Database^[45]和丁雨莲等^[46]的文献。

本田园综合体2021年度共排放2 158.91 tCO₂e,计588.79 tC,单位面积碳排放量为7.85 tC/hm²。田园综合体单位面积碳排放量高于普通村落^[34](图3a,6.79 tC/hm²),但显著低于水产养殖^[47](14.04 tC/hm²)、温室果蔬培育^[48](9.07 tC/hm²)、蔬菜大棚种植^[48](10.38 tC/hm²)以及水稻单作^[49](8.52 tC/hm²)等单一农业模式。田园综合体中各区的碳排放量由高到低为:生产生活区>立体农业区>清水养殖区>作物种植区。单位面积碳排放量最大的是生产生活区,文旅活动是其最大的排放源,碳排放量贡献达37.40%,其次是制冷设备导致的冷媒逸散和生产生活耗电

导致的碳排放,贡献分别达到28.92%和28.73%(表2)。立体农业区的高空间利用率和高种植密度导致单位面积碳排放量较大,主要来自农肥的N₂O排放,占到该区碳排放量的93.42%。清水养殖区的造氧机的电力碳排放是唯一的碳排放源,沉水植物种植和多级循环利用使该区域无饲料投入和尾水处理等碳排放源,因此单位面积碳排放量远低于我国水产养殖^[47]。单位面积碳排放量最小的是作物种植区,排放源种类虽多,但是电力灌溉、机械投入及农药使用量少。

基于对田园综合体碳排放量的估算,进一步计算了本田园综合体的碳排放强度(碳排放量/生产总值),田园综合体的碳排放强度为0.018 1 kg CO₂e/元,中国农业碳排放强度(0.093 3 kg CO₂e/元^[50])是本田园综合体的碳排放强度的5.2倍,中国水产养殖业(0.037 1 kg CO₂e/元^[47])是本田园综合体的碳排放强度的2.1倍,田园综合体的低碳排放强度与其高效的循环利用模式和整体的统筹管理是密不可分的。

表2 上海市金山区郊野村庄田园综合体碳排放量估算
Tab. 2 Calculation of carbon emission in the Fengjing Town Countryside pastoral complex in Jinshan District

区域 Area /hm ²	活动 Activities	排放源 Emission sources	活动水平 Volume of activity	排放因子 Emission factors	二氧化碳排放量 Carbon Dioxide Emissions / tCO ₂ e	碳排放量 Carbon emissions/ tC	单位面积碳排放量 Carbon emissions per unit area / (tC/hm ²)
清水养殖区 Aquatic aquaculture area (30 hm ²)	耗电	化石能源	1197000 KWh	0.581 tCO ₂ e/MWh ^[44]	695.46	695.46	189.67
立体农业区 Stereoscopic agriculture area (20 hm ²)	耗电	化石能源	112000 KWh	0.581 tCO ₂ /MWh ^[44]	65.07	1 044.01	14.24
	造氧机	汽油	1500 L	3.246 kgCO ₂ e/kg ^[45]	3.65		
	农药	化石能源	0.4 kg	16.61 kgCO ₂ e/kg ^[46]	0.01		
	农肥	氧化亚氮	200.7 t	0.0178 tN ₂ O/t N ^[45]	975.28		
作物种植区 Crop growing area (20 hm ²)	电力灌溉	化石能源	20 hm ²	16.47 kgCO ₂ e/hm ² [46]	0.33	73.68	1.00
	农地翻耕	化石能源	0.1km ²	319 kgCO ₂ e/km ² [46]	0.03		
	机械	柴油	2000 L	3.211 kgCO ₂ e/kg ^[46]	5.33		
	农药	化石能源	13.5 kg	16.61 kgCO ₂ e/kg ^[46]	0.22		
	稻田甲烷	甲烷	10 hm ²	241.00 kgCH ₄ /hm ² [46]	67.24		
	牲口反刍	甲烷—山羊	2只/年	9.4 kgCH ₄ /(只·年) ^[45]	0.52		
生产生活区 Production and living area (5 hm ²)	耗电	化石能源	171000 KWh	0.5810 tCO ₂ /MWh ^[44]	99.35	345.77	18.86
	耗水	污水排放	15000 t	0.2100 kgCO ₂ e/m ³ [45]	3.15		
	制冷设备	冷媒逸散	2 kg	0.05 kgHFC/kg ^[45]	100.00		
	居民生活排污	甲烷	85人×300天	0.0196 kgCH ₄ /(人·天) ^[45]	13.66		
	文旅活动	二氧化碳	2万人次/年	2.36 kgCO ₂ /(人·天) ^[46]	129.32		
总计 Total					2 158.91	588.79	7.85

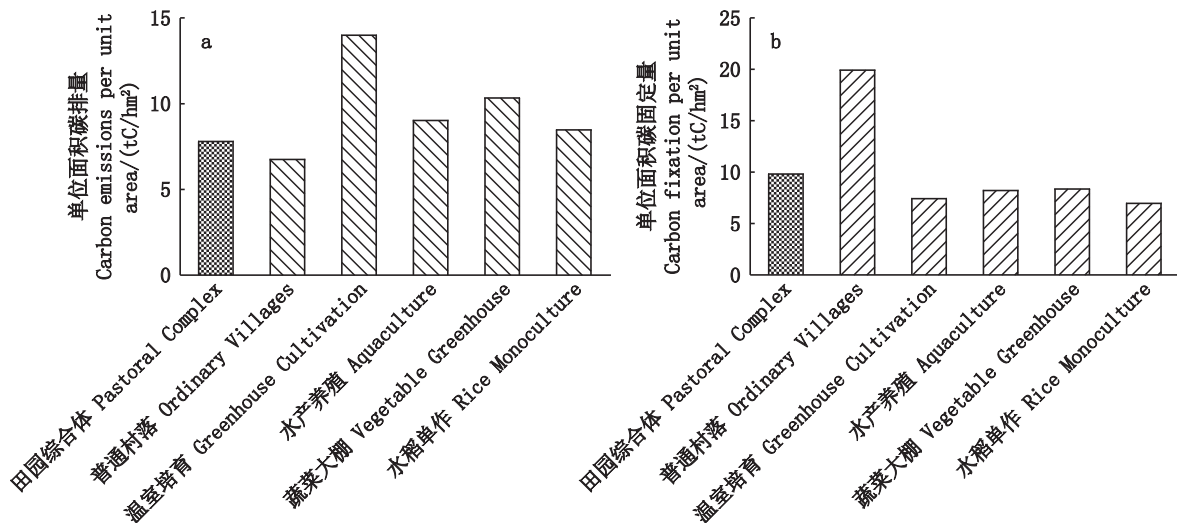


图3 不同模式下单位面积碳排放量与碳固定量

Fig. 3 Carbon emission and carbon fixation per unit area under different models

2.3.2 碳汇估算

本研究碳汇估算通过活动水平与碳固定系数的乘积来计算碳固定量^[46](表3),活动水平数据(2021年)来自该田园综合体的运营主体——上海开太鱼文化发展有限公司的官方披露^[43],碳

固定系数来自丁雨莲等^[46],田大伦等^[51]和解绶启等^[52]的研究。

本田园综合体2021年共计固定740.88 tC,单位面积碳固定量为9.88 tC/hm²,低于开发程度低、碳排放源少、原生植被覆盖率大的普通村落^[34]

(图 3b, 19.98 tC/hm²); 但高于蔬菜大棚^[48](8.42 tC/hm²)、温室蔬菜培育^[48](8.29 tC/hm²)、养殖池塘^[52](7.49 tC/hm²)和普通耕地^[53](7.03 tC/hm²)等单一农业模式。各区的单位面积碳固定量表现为立体农业区>作物种植区>清水养殖区>生产生活区。立体农业区单位面积碳固定量最大,同样与高空间利用率导致的高密度植被分布

密切相关;其次是作物种植区,单位面积碳固定量是普通耕地种植的 1.46 倍,秸秆还田措施是其中一重要固碳措施,碳固定量贡献达 50.43%。清水养殖区的单位面积碳固定量是普通养殖池塘的 1.2 倍,主要碳固定量贡献来自于池塘底部可以越冬的沉水植物种植,水草光合作用对清水养殖区碳固定量贡献达 83.67%。

表 3 上海市金山区郊野村庄田园综合体碳汇估算
Tab. 3 Calculation of carbon sink in the Fengjing Town Countryside pastoral complex in Jinshan District

区域 Partition	活动 Activities	活动水平 Volume of activity	碳固定量系数 Carbon fixation factor	碳固定量 Carbon fixation / tC		单位面积碳固定量 Carbon fixed per unit area/(tC /hm ²)
清水养殖区 Aquatic aquaculture area (30 hm ²)	水域固碳	30 hm ²	0.62 t/hm ² [46]	18.6		
	水草固碳	20.68 hm ²	10.19 t/hm ² [51]	210.73		
		移出鱼 145 t	14% ^[52]	20.3	251.87	8.40
	水产品移出	移出虾 18.2 t	11.08% ^[52]	2.02		
		移出蟹 2 t	11.10% ^[52]	0.22		
立体农业区 Stereoscopic agriculture area (20 hm ²)	林地固碳	20 hm ²	13.696 t/hm ² [46]	273.92	273.92	13.70
作物种植区 Crop growing area (20 hm ²)	农田固碳	20 hm ²	4.656 t/hm ² [46]	93.12		
	秸秆还田	150 t	0.692 t/t ^[46]	103.80	205.85	10.29
	水稻	11.5 t	42.4% ^[46]	4.88		
	油菜	9 t	45% ^[46]	4.05		
生产生活区 Production and living area (5 hm ²)	草地固碳	2.66 hm ²	3.477 t/hm ² [46]	9.25	9.25	1.85
总计 Total				740.88		9.88

2.3.3 碳平衡分析

根据以上碳源(表 2)与碳汇(表 3)的估算结果,上海市金山区郊野村庄田园综合体碳排放量为 588.79 tC,碳固定量为 740.88 tC,碳固定量是碳排放量的 1.25 倍,说明该区域呈现净碳汇(净碳汇量为 152.09 tC)趋势(图 4),目前生态环境与人类活动契合良好,这与该田园综合体统筹区域规划以及科学管理密不可分。

相较于田园综合体的整体良好的碳平衡状态,综合体内各区碳平衡表现区别较大(图 4)。作物种植区和水产养殖区呈现为净碳汇区,净碳汇量最大的是作物种植区,单位面积碳排放量最少、碳固定量最大的低碳有机种植模式使其碳平衡表现最好,净碳汇量达 185.76 tC,而水产养殖区通过高效的水草多级循环利用模式实现净碳汇量 62.20 tC。立体农业区 and 生产生活区是碳源区域,高空间利用率的立体农业区净碳汇量为

-10.81 tC,农肥投入导致的碳排放量是其成为碳源区的主要原因,优化作物种植区农肥管理措施可帮助其达到碳平衡。生产生活区是最大的碳源区域,区内草地的碳固定量远不能抵消人类生活生产文旅活动和制冷设备等造成的碳排放量,因此,降低人类碳足迹是必要举措。

3 结论与展望

本文以上海市金山区枫泾镇郊野村庄田园综合体为例,解析了田园综合体的碳流动,并基于调研和官方数据进行了源汇估算和碳平衡分析。主要结论如下:(1)上海市金山区郊野村庄田园综合体 2021 年碳平衡表现为净碳汇区,净碳汇量为 152.09 tC,其中碳排放量为 588.79 tC,碳固定量为 740.88 tC,碳固定量是碳排放量的 1.26 倍,表明该田园综合体土地利用模式合理,农业管理措施助力了该区域低碳发展。(2)田园综合

体内各分区中碳平衡差异较大,碳平衡表现最好的是作物种植区,低碳有机的种植模式助力作物种植区的高净碳汇量;水产养殖区通过高效的水草多级循环利用模式也呈现为净碳汇区;立体农业区和生产生活区是碳源区,高空间利用率的立体农业区但因农肥碳排放量大表现为碳源区域,

生产生活区降低人类碳足迹势在必行。(3)田园综合体环境整体良好的碳平衡与各区域协作运行、功能互补息息相关,如清水养殖区水草多级循环利用模式、立体农业区的小龙虾-蔬菜-水果高空间利用率和作物种植区的全有机模式都是其降碳增汇的关键节点。

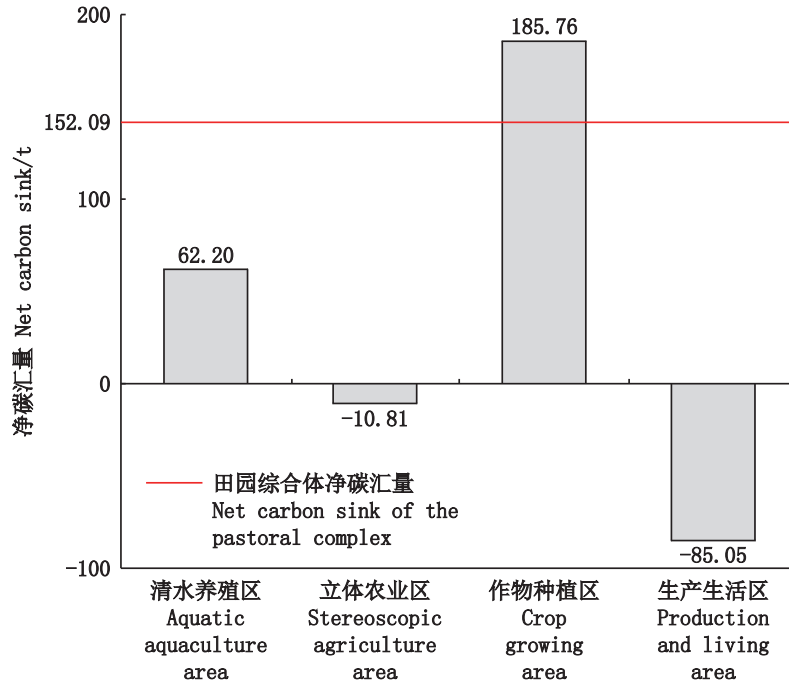


图4 田园综合体各区净碳汇量
Fig. 4 Net carbon sink in each district of the pastoral complex

基于以上结论,为进一步推进低碳田园综合体发展提出以下建议:(1)进一步深化特色碳汇研究,如加强果基稻田、稻蟹共作和秸秆还田等低碳农业管理、清水养殖模式、高空间利用率的立体农业等特色农业模式的碳汇研究,进行精确的固碳能力以及相关影响因素研究;(2)推动绿色农业和低碳农产品的认证、监管、服务全产业链管控体系,将产品碳排放量列入产品标签,助力我国绿色低碳农业产品的上市及推广;(3)加快田园综合体标准化建设,聚焦农村绿色发展和农业固碳增效,推进农业生态、经济、社会效益三者协同与农业可持续发展,实现“双碳”目标与乡村振兴共举。

参考文献:

[1] TERRER C, PHILLIPS R P, HUNGATE B A, et al. A trade-off between plant and soil carbon storage under elevated CO₂[J]. Nature, 2021, 591(7851): 599-603.

[2] 王英,杨娟,王佳丽. 农田生态系统碳排放时空格局及趋势分析[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(1): 89-101.
WANG Y, YANG J, WANG J L. Spatial-temporal pattern and trend analysis of carbon emission from farmland ecosystem [J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(1): 89-101.

[3] 林斌,徐孟,汪笑溪. 中国农业碳减排政策、研究现状及展望[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(4): 500-515.
LIN B, XU M, WANG X X. Mitigation of greenhouse gas emissions in China's agricultural sector: current status and future perspectives [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2022, 30(4): 500-515.

[4] 董文娟,孙钰,李天泉,等. 欧盟甲烷减排战略对我国碳中和的启示[J]. 环境与可持续发展, 2021, 46(2): 37-43.
DONG W J, SUN S, LI T X, et al. European union methane strategy and its implications on China's 2060 carbon neutrality vision [J]. Environment and Sustainable Development, 2021, 46(2): 37-43.

- [5] 任雪菲. EOD模式下生态环境保护的实践与思考[J]. 中国环保产业, 2021(12): 52-55.
REN X F. Practice and thinking of ecological and environmental protection under EOD mode [J]. China Environmental Protection Industry, 2021(12): 52-55.
- [6] 辛璐, 赵云皓, 卢静, 等. 生态导向开发(EOD)模式内涵特征初探[C]//2020中国环境科学学会科学技术年会论文集(第一卷). 南京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司出版, 2020: 193-196.
XIN L, ZHAO Y H, LU J, et al. A preliminary investigation on the connotation characteristics of ecologically oriented development (EOD) model [C]// Proceedings of 2020 Annual Scientific and Technical Conference of the Chinese Society of Environmental Sciences (Volume I). Nanjing: China Academic Journal (CD-ROM version) Electronic Journal Co., 2020: 193-196.
- [7] 王敬尧, 段雪珊. 乡村振兴: 日本田园综合体建设理路考察[J]. 江汉论坛, 2018(5): 133-140.
WANG J Y, DUAN X S. Rural revitalization: a study of the rational path of pastoral complex construction in Japan [J]. Jiangnan Tribune, 2018(5): 133-140.
- [8] 邓洁, 莫凯迪, 黄建华, 等. 乡村振兴战略背景下供给侧改革推进田园综合体农业景观开发实施路径[J]. 湖南行政学院学报, 2022(5): 99-107.
DENG J, MO K D, HUANG J H, et al. Implementation path of agricultural landscape development of Pastoral Complexes promoted by supply-side reform in the context of rural revitalization strategy [J]. Journal of Hunan Administration Institute, 2022(5): 99-107.
- [9] KIM J. The meaning of differentiation in rural development projects and its implications on resident assessment [J]. Journal of Korean Society of Rural Planning, 2015, 21(2): 79-90.
- [10] 刘国新, 刘玉莹. 美国乡村建设经验对我国乡村振兴的启示[J]. 中国市场, 2022(8): 39-40.
LIU G X, LIU Y Y. Inspiration of American rural construction experience to China's rural revitalization [J]. China Market, 2022(8): 39-40.
- [11] STEVANOVIĆ M, POPP A, BODIRSKY B L, et al. Mitigation strategies for greenhouse gas emissions from agriculture and land-use change: consequences for food prices [J]. Environmental Science & Technology, 2017, 51(1): 365-374.
- [12] 韦奕丞. 乡村振兴背景下田园综合体研究综述[J]. 山西农经, 2021(22): 16-17, 20.
WEI Y C. A review of research on pastoral complex in the context of rural revitalization [J]. Shanxi Agricultural Economy, 2021(22): 16-17, 20.
- [13] 林淑伟, 关松立. 田园综合体与乡村振兴发展耦合关系研究[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2022, 31(1): 47-54.
LIN S W, GUAN S L. The coupling relationship between pastoral complex and rural revitalization and development [J]. Journal of Minzu University of China (Natural Sciences Edition), 2022, 31(1): 47-54.
- [14] 李玲燕, 裴佳佳, 叶杨. “资源-要素-政策”相协调下乡村典型发展模式与可持续发展路径探析[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(10): 220-231.
LI L Y, PEI J J, YE Y. Exploration of typical rural development model and sustainable development path under the coordination of "resources-elements-policies" [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(10): 220-231.
- [15] 刘冰冰, 王志标. 田园综合体模式分析及其优化路径——以首批国家级试点为例[J]. 安徽农业大学学报(社会科学版), 2022, 31(1): 17-23.
LIU B B, WANG Z B. The analysis of rural complex model and its optimization path: taking the first batch of national pilots as an example [J]. Journal of Anhui Agricultural University (Social Sciences Edition), 2022, 31(1): 17-23.
- [16] 凌利宏, 黄丹青, 陈玉超. 合肥南岗现代农业田园综合体发展研究[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(22): 21-23.
LING L H, HUANG D Q, CHEN Y C. Study on the development of modern agricultural pastoral complex in Nangang, Hefei [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2021, 27(22): 21-23.
- [17] 何彦. 乡村振兴背景下田园综合体全产业链发展模式思考[J]. 农村经济与科技, 2021, 32(21): 1-3.
HE Y. Thinking about the whole industry chain development mode of Pastoral Complex in the context of rural revitalization [J]. Rural Economy and Science-Technology, 2021, 32(21): 1-3.
- [18] 刘雅菲, 董贤斌, 罗静思平, 等. 城乡交错带田园综合体景观规划设计[J]. 绿色科技, 2021, 23(23): 37-39.
LIU Y F, DONG X B, LUO J S P, et al. Landscape planning and design of Pastoral Complexes in urban-rural intersection [J]. Journal of Green Science and Technology, 2021, 23(23): 37-39.
- [19] 吕明书. 海南“都市田园”综合体建设研究[J]. 商业文化, 2021(29): 94-95.
LV M S. Study on the construction of "urban field" complex in Hainan [J]. Business Culture, 2021(29): 94-95.
- [20] 陈博文, 晁军, 陈元, 等. 田园综合体目标导向下的乡村规划设计研究——以山西省西岭村为例[J]. 艺术教育, 2021(11): 235-238.
CHEN B W, CHAO J, CHEN Y, et al. Study on rural planning and design under the objective orientation of idyllic complex - taking Xiling village in Shanxi province as an example [J]. Art Education, 2021(11): 235-238.

- [21] 陈琳. 园林景观视野下的田园综合体开发——以重庆永川关门山村为例[J]. 农村经济与科技, 2021, 32(18): 8-10.
CHEN L. Pastoral complex development under the vision of landscape gardening - the example of Guanshan village in Yongchuan, Chongqing [J]. Rural Economy and Science-Technology, 2021, 32(18): 8-10.
- [22] 黄汉池. “传统文化+休闲旅游+户外运动”的理论逻辑与实践启示——以“田园综合体”为例[J]. 内江科技, 2022, 43(3): 134-136.
HUANG H C. Theoretical logic and practical inspiration of "traditional culture + leisure tourism + outdoor sports"-The example of "Pastoral Complex" [J]. Rural Economy and Science-Technology, 2022, 43(3): 134-136.
- [23] 吴伟勇. “田园综合体”共生发展模式的相关思考——以玉山县归云·语路为例[J]. 现代园艺, 2021, 44(24): 199-200.
WU W Y. Considerations on the symbiotic development model of "Pastoral Complex" -The example of Yushan County's Guiyun-Whispering Road [J]. Contemporary Horticulture, 2021, 44(24): 199-200.
- [24] 高扬, 王朔月, 陆瑶, 等. 区域陆-水-气碳收支与碳平衡关键过程对地球系统碳中和的意义[J]. 中国科学: 地球科学, 2022, 52(5): 832-841.
GAO Y, WANG S Y, LU Y, et al. Carbon budget and balance critical processes of the regional land-water-air interface: indicating the earth system's carbon neutrality [J]. Science China Earth Sciences, 2022, 52(5): 832-841.
- [25] 李劫, 徐晋涛. 我国农业低碳技术的减排潜力分析[J]. 农业经济问题, 2022(3): 117-135.
LI J, XU J T. Analyses of carbon reduction potential of low carbon technologies in China [J]. Issues in Agricultural Economy, 2022(3): 117-135.
- [26] 侯向阳, 徐海红. 不同放牧制度下短花针茅荒漠草原碳平衡研究[J]. 中国农业科学, 2011, 44(14): 3007-3015.
HOU X Y, XU H H. Research on carbon balance of different grazing systems in *Stipa breviflora* desert steppe [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(14): 3007-3015.
- [27] SIDORENKO G I. Regional carbon balance and rational energetics development [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 675-677: 1701-1705.
- [28] LLOYD J, KOLLE O, FRITSCH H, et al. An airborne regional carbon balance for Central Amazonia [J]. Biogeosciences Discussions, 2007, 4(1): 99-123.
- [29] 朱晓青, 朱可宁, 黄志豪. 浅析碳平衡视角下的区域生态补偿机制[J]. 建筑与文化, 2019(11): 52-53.
ZHU X Q, ZHU K N, HUANG Z H. Analysis on regional ecological compensation mechanism from the perspective of carbon balance [J]. Architecture & Culture, 2019(11): 52-53.
- [30] 余光辉, 耿军军, 周佩纯, 等. 基于碳平衡的区域生态补偿量化研究——以长株潭绿心昭山示范区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(4): 454-458.
YU G H, GENG J J, ZHOU P C, et al. Quantitative research of regional ecological compensation based on carbon balance: take Zhaoshan demonstration area of Changzhutan green heart as an example [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(4): 454-458.
- [31] 杨立, 郝晋珉, 艾东, 等. 基于区域碳平衡的土地利用结构调整——以河北省曲周县为例[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2293-2301.
YANG L, HAO J M, AI D, et al. Adjustment of land use structure based on regional carbon balance: a case study in Quzhou County, Hebei Province [J]. Resources Science, 2011, 33(12): 2293-2301.
- [32] CHIU C C, CHÂTEAU P A, LIN H J, et al. Modeling the impacts of coastal land use changes on regional carbon balance in the Chiku coastal zone, Taiwan [J]. Land Use Policy, 2019, 87: 104079.
- [33] SHUMAN J K, SHUGART H H, KRANKINA O N. Testing individual-based models of forest dynamics: issues and an example from the boreal forests of Russia [J]. Ecological Modelling, 2014, 293: 102-110.
- [34] 黄钊. 堰河村碳平衡研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
HUANG Z. Study on carbon balance in Yanhe village [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2012.
- [35] 黄玉英, 李坚明, 任芳祜, 等. 广西净水渔业养殖模式探索[J]. 大众科技, 2023, 25(1): 135-137, 192.
HUANG Y Y, LI J M, REN F G, et al. Exploration on the aquaculture model of water purification fishery in Guangxi [J]. Popular Science & Technology, 2023, 25(1): 135-137, 192.
- [36] 李奎. 稻蟹共作-池塘养殖复合生态系统营养循环及生态评价研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
LI K. Nutrient cycle and ecological evaluation of rice-crab culture and aquaculture integrated system [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [37] 李志宏. 基于农户调研的油菜化肥农药施用现状分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2021.
LI Z H. Analysis of chemical fertilizer and pesticide application status in oilseed rape (*Brassica napus* L.) based on farmers' survey [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2021.
- [38] CUI X Q, ZHOU F, CIAIS P, et al. Global mapping of crop-specific emission factors highlights hotspots of nitrous oxide mitigation [J]. Nature Food, 2021, 2(11): 886-

- 893.
- [39] 晏晓原. 长期稻虾共作对稻田土壤碳、氮矿化及温室气体排放特征影响研究[D]. 荆州: 长江大学, 2022.
YAN X Y. Effects of long-term rice-crayfish co-culture system on soil carbon and nitrogen mineralization and greenhouse gas emission characteristics in paddy fields [D]. Jingzhou: Yangtze University, 2022.
- [40] 蒋榕, 徐强, 李京咏, 等. 稻虾共作模式碳足迹评价的敏感性和不确定性分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(10): 1577-1587.
JIANG R, XU Q, LI J Y, et al. Sensitivity and uncertainty analysis of carbon footprint evaluation: a case study of rice-crayfish coculture in China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2022, 30(10): 1577-1587.
- [41] WANG A, MA X Z, XU J, et al. Methane and nitrous oxide emissions in rice-crab culture systems of northeast China [J]. Aquaculture and Fisheries, 2019, 4(4): 134-141.
- [42] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. Paris: IPCC, 2006.
- [43] 上海太和水科技发展股份有限公司. 上海太和水科技发展股份有限公司 2021 年年度报告[EB/OL]. (2022-04-26). http://file.finance.sina.com.cn/211.154.219.97:9494/MRGG/CNSESH_STOCK/2022/2022-4/2022-04-26/8075625.PDF.
Shanghai Taihe Water Technology Development Co., Ltd. 2021 annual report of Shanghai Taihe water technology development Co., Ltd [EB/OL]. (2022-04-26). http://file.finance.sina.com.cn/211.154.219.97:9494/MRGG/CNSESH_STOCK/2022/2022-4/2022-04-26/8075625.PDF.
- [44] 生态环境部办公厅. 关于印发《企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施》《企业温室气体排放核查技术指南 发电设施》的通知[EB/OL]. (2021-12-02). https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202212/t20221221_1008430.html.
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Corporate greenhouse gas emissions accounting methodology and reporting guidelines for power generation facilities (revised version 2021) [EB/OL]. (2021-12-02). https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202212/t20221221_1008430.html.
- [45] Ecoinvent database[EB/OL]. (2011-05-11). <http://www.ecoinvent.ch>.
- [46] 丁雨莲. 碳中和视角下乡村旅游地净碳排放估算与碳补偿研究——皖南宏村与合肥大圩案例实证[D]. 南京: 南京师范大学, 2015.
DING Y L. Estimation of net carbon emissions and carbon offsets in rural tourism from a carbon neutral perspective [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2015.
- [47] 刘晃, 车轩. 中国水产养殖二氧化碳排放量估算的初步研究[J]. 南方水产, 2010, 6(4): 77-80.
LIU H, CHE X. Elementary study on evaluation of CO₂ emissions from aquaculture in China [J]. South China Fisheries Science, 2010, 6(4): 77-80.
- [48] 宋博, 穆月英. 设施蔬菜生产系统碳足迹研究——以北京市为例[J]. 资源科学, 2015, 37(1): 175-183.
SONG B, MU Y Y. The carbon footprint of facility vegetable production systems in Beijing [J]. Resources Science, 2015, 37(1): 175-183.
- [49] 马达文, 钱静, 刘家寿, 等. 稻渔综合种养及其发展建议[J]. 中国工程科学, 2016, 18(3): 96-100.
MA D W, QIAN J, LIU J S, et al. Development strategy for integrated rice field aquaculture [J]. Strategic Study of CAE, 2016, 18(3): 96-100.
- [50] 赵敏娟, 石锐, 姚柳杨. 中国农业碳中和目标分析与实现路径[J]. 农业经济问题, 2022(9): 24-34.
ZHAO M J, SHI R, YAO L Y. Analysis on the goals and paths of carbon neutral agriculture in China [J]. Issues in Agricultural Economy, 2022(9): 24-34.
- [51] 田大伦, 闫文德, 梁小翠, 等. 血水草生物量及碳贮量分布格局[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 4165-4171.
TIAN D L, YAN W D, LIANG X C, et al. Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomeconchionantha* Hance [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4165-4171.
- [52] 解绶启, 刘家寿, 李钟杰. 淡水水体渔业碳移出之估算[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(1): 82-89.
XIE S Q, LIU J S, LI Z J. Evaluation of the carbon removal by fisheries and aquaculture in freshwater bodies [J]. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(1): 82-89.
- [53] 李新华, 朱振林, 董红云, 等. 秸秆不同还田模式对玉米田温室气体排放和碳固定的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(11): 2228-2235.
LI X H, ZHU Z L, DONG H Y, et al. Effects of different return modes of wheat straws on greenhouse gas emissions and carbon sequestration of maize fields [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2015, 34(11): 2228-2235.

Carbon balance in pastoral complex based on EOD model

DU Shengnan¹, MA Haojia¹, LIU Jing^{2,3}, LI Juanying^{1,4}, CHEN Yiqin¹, HE Wenhui^{1,4,5}

(1. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Technology Innovation Center for Land Spatial Eco-restoration in Metropolitan Area, MNR, Shanghai 200003, China; 3. Shanghai Construction Land and Land Consolidation Affairs Center, Shanghai 200003, China; 4. Shanghai Engineering Research of River and Lake Biochain Construction and Resource Utilization, Shanghai 201702, China; 5. Shanghai Taihe Water Science and Technology Development Co., LTD, Shanghai 200433, China)

Abstract: China is continuously promoting the transformation of rural green economy and rural revitalization strategy, and various ecology-oriented agricultural development models such as the pastoral complexes are new ways of rural revitalization construction, driving the transformation of traditional agriculture to modern agriculture development while driving the carbon sequestration and emission reduction in agriculture. Taking the EOD (Ecology oriented development) model of the pastoral complex in Fengjing Township, Jinshan District, Shanghai as the research object, based on on-site research and data statistics, the carbon input and output in the park, as well as the flow and storage of carbon among various areas in the garden, were analyzed; meanwhile, based on the carbon source and sink inventories and at the same time, the carbon balance characteristics of each zone in the pastoral complex were analyzed based on the carbon source and sink inventories and estimation results. The results show that the carbon balance of the pastoral complex in Jinshan District, Shanghai in 2021 is a net carbon sink area, with a net carbon sink of 152.09 tC, including emissions of 588.79 tC and carbon fixation of 740.88 tC. Within the pastoral complex, the crop cultivation area is the largest net carbon sink area through low-carbon organic cultivation mode, with a net carbon sink of 185.76 tC. The aquaculture area has a net carbon sink of 62.20 tC through the efficient multi-stage water and grass recycling model; the stereoscopic agriculture area with a high spatial utilization rate is the carbon source area with a net carbon sink of -10.81 tC due to the significant carbon emission from agricultural fertilizers; the production and living area is the largest carbon source area with a net carbon sink of -85.05 tC, and human cultural and tourism activities are the largest carbon emission source. The analysis combines the carbon flow of this pastoral complex. It proposes four directions of agricultural carbon reduction and sink increase by developing high material recycling rate, high spatial utilization rate, low carbon organic planting mode, and agricultural science management.

Key words: EOD model; pastoral complex; carbon balance; agricultural carbon sink