

引用格式:白雨,丁黎黎,赵昕.时间偏好影响下的海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制[J].资源科学,44(12):2487-2500. [Bai Y, Ding L L, Zhao X. Ecological product value realization mechanism of marine ranch blue carbon sink under the influence of time preference[J]. Resources Science, 2022, 44(12): 2487-2500.] DOI: 10.18402/resci.2022.12.08

时间偏好影响下的海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制

白雨,丁黎黎,赵昕

(中国海洋大学经济学院,青岛 266100)

摘要:海洋牧场是促进海洋渔业转型升级和海洋生态文明建设的重要举措,其蓝碳生态产品价值实现机制则是将“绿水青山”转化为“金山银山”的关键环节。然而,参与主体单一、生态价值回报不足、跨期价值转换偏差等问题,严重制约着中国海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的市场化、可持续运作。鉴于此,本文在“政府激励+蓝碳交易”直接机制的基础上融入“蓝碳质押信贷”间接机制,设计了一个涵盖政府、渔企、第三方服务机构(碳交易中心、银行等)3个主体,现期收益与未来收益可转换的海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制,同时将时间偏好引入演化博弈模型,分析了渔企时间偏好对该机制运作的影响。研究结论如下:①渔企时间偏好对海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制存在影响,对3个主体策略行为的影响而言,对渔企影响最大,其次是第三方服务机构、政府。②在直接实现机制中,补贴金额和环境保护税越高,越有利于推动海洋牧场及其蓝碳生态产品市场发展;且相较于补贴,环境保护税这一负激励的推动作用更强。蓝碳现货价格越高,渔企采取海洋牧场模式的意愿越高,但对第三方服务机构开展蓝碳质押信贷业务的意愿产生倒“V”型影响,即先促进后抑制。③在间接实现机制中,信贷风险越低,质押率越高,就越有利于推动海洋牧场及其蓝碳生态产品市场的有序发展;而守信奖励、违约金等信贷奖惩措施应适中,过高或过低均不利于实现海洋牧场及其蓝碳生态产品市场的良性发展。以上结论对完善中国海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制提供了重要的科学依据。

关键词:海洋牧场;蓝碳生态产品;生态产品价值实现机制;渔企时间偏好;演化博弈;数值仿真;蓝碳质押

DOI: 10.18402/resci.2022.12.08

1 引言

碳汇渔业,是指能够发挥生物碳汇功能、直接或间接降低CO₂浓度的渔业生产活动,是绿色可持续发展理念在渔业领域的具体体现^[1],主要方式就是建立海洋牧场。作为一种环境友好型渔业生产方式,海洋牧场因具有海洋生态修复、全球气候调节的生态价值,成为国家生态文明建设和海洋强国战略的关键落脚点。但参与主体单一、生态价值回报不足及其衍生的实现机制不可持续等现状,对海洋牧场建设积极性、海洋生态效益持续提升产生了阻碍^[2]。据农业部不完全统计^[3],截至2016年,全国

已投入海洋牧场资金55.8亿元,产生生态效益604亿元,年度固碳量19万t。尽管2020年以来,中央相继对大连、威海等地的多个国家级海洋牧场分别下达了1000万~5000万元的补助资金,但补助金额仍远远小于其产生的生态价值,从而导致海洋牧场生态效益提升效率受限。事实上,海洋牧场蓝碳生态价值不仅具有生态效益,还具有商品属性,这为建立市场化的海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制提供了可能。因此,构建“政府主导、企业和社会各界参与、市场化运作、可持续”的海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制,已成为各地政府推进海洋牧场

收稿日期:2022-05-31 修订日期:2022-12-01

基金项目:国家自然科学基金项目(71973132);泰山学者工程专项经费项目(tsqn20161014;ts201712014)。

作者简介:白雨,女,山东诸城人,博士研究生,研究方向为碳金融与博弈论。E-mail: by11191311009@163.com

通讯作者:赵昕,女,辽宁锦州人,教授,研究方向为数理金融与海洋经济。E-mail: zx@ouc.edu.cn

建设工作的重中之重。

海洋生态产品是指具有正外部性的海洋生态系统服务^[4],包括海洋生态物质产品、调节服务产品和文化服务产品^[5]。海洋牧场蓝碳则是指在海洋牧场养殖模式下,渔企采用人工鱼礁投放和增殖放流等绿色养殖方式,通过培育大型藻类、贝类等海洋生物,将碳元素最终以人工捕捞水产品方式移出的过程、活动和机制^[6],属于“气候调节服务”类生态产品范畴。事实上,除以水产品捕捞形式移出以外,海洋牧场蓝碳还能将碳元素转换为惰性溶解有机碳、颗粒有机碳,以生物沉积物形式被长时间固定和储藏于海底。可见,海洋牧场的蓝碳功能具有长时间尺度特征且潜力巨大^[4],但该部分生态价值尚未真正实现企业内部化,这不利于完全发挥海洋牧场的生态调节功能。

海洋牧场蓝碳生态产品的正外部性可通过生态产品价值实现机制来进行内部化处理。生态产品价值实现机制是基于多种主体参与、多种工具为支撑、多项政策工具作保障而进行的市场化、半市场化交易行为^[7]。根据交易形式的不同,生态产品价值实现机制可分为直接和间接机制:前者是指以生态产品直接交易、生态产权权能分割为代表的生态资源直接交易,典型代表有碳汇交易^[8];后者则是以生态资产优化配置、金融市场工具嫁接为代表的生态资源增值交易,典型代表有碳期权、碳信贷^[9]。而目前,关于海洋牧场蓝碳生态产品的价值实现机制研究多集中于政府补贴、蓝碳交易等直接机制。研究表明,政府补贴合理设置、蓝碳交易价格上涨均有利于提高海洋牧场蓝碳服务能力^[10]。以生物泵固定的CO₂作为海洋牧场蓝碳量的测算标准,沈金生等^[11]通过构建政府激励补贴模型,发现中国政府对海洋牧场的基准补贴和激励补贴额度与海洋牧场的蓝碳量息息相关。Wang等^[12]则进一步提出了针对不同类型海洋牧场采取的差别化补贴和税收措施。而基于金融市场工具嫁接的间接实现机制研究尚未系统探索^[13],这导致海洋牧场蓝碳生态产品,作为一项长周期、跨期决策的系统工程,可能因当前收益与未来收益存在转换偏差,而无法实现合理的完整价值回报,从而引致生态产品供给内生动力不足^[14]。因此,考虑生态产品供给的社会折现率,探索适用于跨期投资的生态金融工具,是建立健全

海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的重要内容。

时间偏好是指对于相同的消费束,行为主体总是偏好现在甚于将来。作为跨期决策最重要的影响因素之一,时间偏好会对企业的项目投融资决策产生干扰。研究发现,时间偏好不一致一方面会通过影响企业的融资成本,进而影响企业的资本结构^[15];另一方面,会干扰企业家对项目最佳投资时机的判断,例如导致企业家延迟投资,选择较高的破产水平^[16],或者导致企业家投资规模的先增后减,进而产生投资不足问题,影响项目的灵活性价值^[17]。值得注意的是,时间偏好还会显著影响企业、农户等个体对低碳节能项目的投资意愿。学者们发现,时间偏好对农户的森林碳汇经营意愿、绿色技术采用意愿均存在显著的负向影响^[18,19],进而对红树林、森林等生态效益显著的项目投资产生影响^[20]。

综上,目前国内外关于海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制,以及时间偏好影响企业投融资决策行为的研究已取得了一系列成果,但也存在一些不足:①现有关于海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的研究,主要集中于政府补贴、蓝碳交易领域且数量有限,缺少基于金融市场工具嫁接的间接实现机制研究;②现有关于时间偏好影响企业投融资决策的研究,均是以企业融资、企业投资、企业低碳意愿为单一视角开展的,很少能同时囊括以上3种视角。海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制作为一项集渔企投资、融资于一体的低碳项目,是否以及如何受渔企时间偏好这一认知偏差的影响有待考证;③关于蓝碳量的测算多关注于生物泵的碳汇增量,忽视了不同养殖方式产生的碳源增量差异,无法体现海洋牧场模式相较于传统养殖在蓝碳功能上的优势。针对以上不足,本文从直接和间接双机制入手,设计了一个囊括政府激励、蓝碳交易、蓝碳质押信贷多种工具,政府、渔企、第三方服务机构(碳交易中心、银行等)3个主体,现期收益与未来收益可转换的海洋牧场生态产品价值实现机制,同时将时间偏好引入演化博弈模型,分析了渔企时间偏好对该机制运行的影响。主要贡献在于:①在“政府激励+蓝碳交易”直接机制的基础上融入“蓝碳质押信贷”间接机制,细化蓝碳质押信贷奖惩措施,实现生态产品现期收益与未来收益的可转换,是对生态产品价值实现机制的有益探索;②引入渔企时间

2022年12月

偏好,剖析了海洋牧场生态产品价值实现机制可能存在的跨期收益转换偏差,及其对各参与主体行为策略的微观作用机理,是对时间偏好影响领域研究的补充拓展;③从整体生态效益出发,基于碳汇增量和碳源增量的比值关系设计了水产养殖的蓝碳服务价值衡量指标,强调了海洋牧场模式相较于传统养殖的蓝碳功能优势。本文旨在为国家构建“政府主导、企业和社会各界参与、市场化运作、可持续”的生态产品价值实现机制提供理论参考和有益启示。

2 理论基础

2.1 生态产品价值实现机制阐释

本文涉及的海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制包含直接和间接机制,其中,直接机制包括差异化政府激励和蓝碳交易,间接机制是指蓝碳质押信贷,具体流程如图1。渔企作为海水养殖业的重要参与者,有两种养殖模式可供选择:①传统养殖模式,靠投放含碳饵料养殖各类水产品;②海洋牧场模式,采取人工鱼礁投放、增殖放流等技术,利用海洋中天然饵料进行水产品培育。从整体生态效果来看,传统养殖模式因产生的碳源增量 $>$ 碳汇增量而不具有碳汇功能,此时渔企因产生负生态效益而需在培养期末缴纳环境保护税;而海洋牧场模式因产生的碳汇增量 $>$ 碳源增量而具有碳汇功能,此时渔企因产生正生态效益而获得政府补贴和蓝碳生态产品。蓝碳生态产品有2种变现方式:①蓝碳

交易,即在 t 时刻,渔企持蓝碳现货到碳交易中心进行买卖,获得生态收益;②蓝碳质押信贷,即在0时刻,渔企以蓝碳未来收益权为质押物,从银行先获得部分资金,后在 t 时刻,渔企按期还款且银行解押后,再持蓝碳现货到碳交易中心进行现货交易,获得全部生态收益。

2.2 参与主体及其行为逻辑分析

(1)参与者有限理性。政府、渔企、银行、碳交易中心等参与主体均会根据自身得益以及其他参与者的策略而不断调整自身策略,以实现自身收益的最大化。

(2)参与主体及其策略空间。参与主体包括政府、第三方服务机构和渔企,其中第三方服务机构包括银行、碳交易中心和第三方核证机构,共同合作为渔企提供碳交易、碳质押信贷服务。其中,政府的策略空间为激励和无作为,选择激励策略的概率为 x ($x \in [0, 1]$),选择无作为策略的概率为 $1-x$;第三方服务机构的策略空间为开展蓝碳质押信贷业务和开展蓝碳交易业务,选择开展蓝碳质押信贷业务的概率为 y ($y \in [0, 1]$),选择开展蓝碳交易业务的概率为 $1-y$;渔企的策略空间为海洋牧场模式和传统养殖模式,选择海洋牧场模式的概率为 z ($z \in [0, 1]$),选择传统养殖模式的概率为 $1-z$ 。

(3)渔企具有时间偏好。渔企作为典型的经济人,在作出海洋牧场投资建设策略时,会受到时间偏好影响。换言之,比起未来收益,渔企更看重现

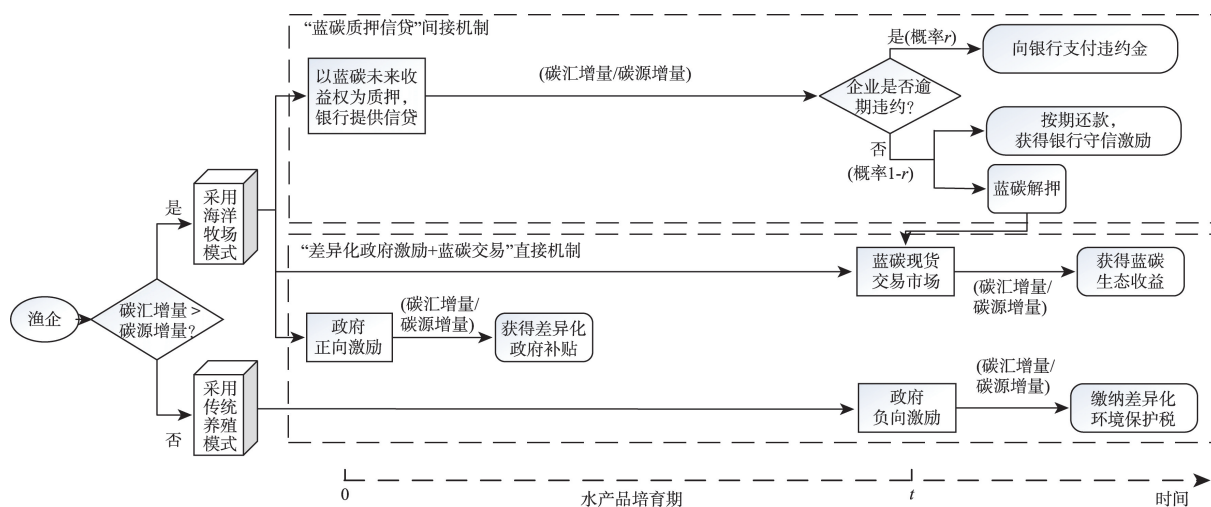


图1 海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制示意图

Figure 1 Schematic diagram of ecological value realization mechanism of marine ranch blue carbon sink

期收益。可见,渔企的收益贴现率是动态的,随着时间区间的延长而逐渐降低;同时,还会受到渔企对当前偏好程度的影响,偏好程度越高,越看重现期收益,收益贴现率越低。因此,借鉴准双曲线模型^[17]刻画渔企的贴现率函数:

$$D(t)=\begin{cases} 1, & t=0 \\ \beta\delta^t, & t\in(0,+\infty) \end{cases} \quad (1)$$

式中: β ($0 < \beta \leq 1$) 是渔企时间偏好系数, β 越大,渔企对当前的偏好程度越小,而对未来的偏好程度越大,故贴现率也就越大; δ ($0 < \delta < 1$) 是折现系数,一般受项目风险和市场利率的影响; t 是项目持续时间, t 越大,贴现率越小。当 $\beta=1$ 且 $t=0$ 时,贴现率为1,此时渔企不受时间偏好影响。

(4) 渔企生产两种产品且价值衡量标准不同。渔企生产有两种产品:①经济产品,即扇贝、海藻等水产品;②蓝碳生态产品,其经济收益属于渔企,生态收益属于政府。其中,经济产品具有无差异性,即渔企无论采取海洋牧场模式还是传统养殖模式,水产品养殖种类、产量和质量都相同,故无论渔企选择哪种模式,单位质量水产品均产生相等的碳汇增量 $\bar{\theta}$ 。为区分两种模式的生态价值,假设蓝碳生态产品价值与能值指标 α 成正比, α 为培育单位质量水产品的碳汇增量与碳源增量 ($1+\rho$) 的比值,即当培育单位质量水产品的碳汇增量越多,碳源增量越少时,其产生的蓝碳生态产品价值越高:

$$\alpha = \frac{\bar{\theta}}{1+\rho} \quad (2)$$

式中:碳源增量采用相对量指标来衡量,以量少者为基准。1为海洋牧场模式下单位质量水产品产生的碳源增量, ρ 为相比于海洋牧场模式,传统养殖模式下单位质量水产品产生的额外碳源增量。当 $\rho=0$ 时, α 表示海洋牧场模式的能值指标;当 $\rho>0$ 时, α 表示传统养殖模式的能值指标。

(5) 市场化生态产品价值实现方式包括蓝碳交易和蓝碳质押信贷。两者最大区别在于价值实现时刻的不同。蓝碳交易属于一种实物交易,具有“未来交易”特点,即渔企需要在养殖、核算和认证等环节完成一个投资周期后,才能进行交易;蓝碳质押信贷属于一种信用交易,具有“现期交易”特点,即渔企不需要等投资周期后,只要有第三方服务机构的证明材料,就可以在无实物的情况下,在

期初利用企业和项目信用进行交易,到期解押后,即可到碳交易市场进行买卖。因此,蓝碳质押信贷市场是基于蓝碳交易市场而建立起来的。

3 参数设置与模型构建

3.1 参数设置

各参与主体的参数设置如表1所示。当政府采取激励策略时,需要支付发布、宣传、落实等政策实施成本 C_1 ,同时向采取海洋牧场模式的渔企支付补贴额 $s\bar{\theta}M$,向采取传统养殖模式的渔企征收环境保护税 $\frac{M}{\alpha}\tau$;当政府采取无作为策略时,不存在任何支出,生态效益为0。政府激励下渔企采取海洋牧场模式的意愿更高,因此,相比于无作为,激励策略为政府带来额外生态效益 E 。

当第三方服务机构开展蓝碳交易业务时,获得市场收益 $\bar{\theta}MP_c r$,支付交易业务成本 C_2 ,主要用于蓝碳的核算、认证和交易等。当第三方服务机构开展蓝碳质押信贷业务时,支付质押业务成本

表1 各参与主体的得益参数

Table 1 Benefit parameters of the three types of participants

符号	含义
$D(t)$	贴现率
$\bar{\theta}$	单位质量水产品的碳汇增量 ($0 < \bar{\theta} < 1$)
α	能值指标 ($0 < \alpha < 1$)
ρ	相比于海洋牧场,传统养殖模式下单位质量水产品的额外碳源增量 ($\rho > 0$)
C_1	补贴政策实施成本
s	给予渔企的蓝碳补贴率
M	渔企生产水产品的质量
τ	征收渔企的环境保护税率
E	相比于无作为,激励政策带来的额外生态效益
P_c	蓝碳单价
r	蓝碳交易市场收益率
C_2	蓝碳交易业务成本
ΔC_2	相比于交易成本,蓝碳质押信贷业务的额外成本
ε	海洋牧场模式下渔企发生道德风险行为的概率
ω	质押率
i	蓝碳质押信贷利率
B	给予渔企按期还款的守信奖励
L	给予渔企逾期违约的违约金
C_3	传统养殖模式下单位质量水产品的建设和养殖成本
P_1	水产品单价
ΔC_3	相比于传统养殖,海洋牧场模式下单位质量水产品的额外建设和养殖成本

2022年12月

$(C_2 + \Delta C_2)$, 其中 ΔC_2 为支付的额外质押成本, 即除蓝碳核算、认证和交易以外的蓝碳质押、渔企信用评级等手续办理费用; 因渔企道德风险行为而存在信贷风险, 银行信贷收益服从两点分布: 依概率 ε ($0 < \varepsilon < 1$) 因渔企按期还款而获得信贷收益 $\bar{\theta}MP_c\omega i$, 向渔企支付守信奖励 B , 例如提供优先贷款、简化程序等“绿色通道”、优惠利率等; 依概率 $(1 - \varepsilon)$ 因渔企逾期违约而产生信贷本息损失 $\bar{\theta}MP_c\omega(1 + i)$, 同时获得来自于渔企的违约金 L 。

当渔企选择传统养殖模式时, 支付建设和养殖成本 C_3M 和环境保护税 $\frac{M}{\alpha}\tau D(t)$, 获得水产品经济收益 $MP_1D(t)$ 。当渔企选择海洋牧场模式时, 仍获得水产品经济收益 $MP_1D(t)$, 但因存在道德风险行为, 渔企其他得益服从两点分布: 依概率 $(1 - \varepsilon)$ 不诚信经营, 支付建设和养殖成本 C_3M 、信贷逾期违约成本 $LD(t)$ 、环境保护税 $\frac{M}{\alpha}\tau D(t)$; 依概率 ε 诚信经营, 支付建设和养殖成本 $(C_3 + \Delta C_3)M$, 同时获得银行的守信奖励 $BD(t)$ 和政府补贴 $s\bar{\theta}M$, 以及蓝碳生态价值回报且因市场主体策略的不同而不同。若市场提供的是蓝碳交易业务, 那么渔企就只能在 t 时刻进行实物交易, 此时生态价值回报为

$\bar{\theta}MP_cD(t)$; 若市场提供的是蓝碳质押信贷业务, 那么渔企的部分蓝碳就可以实现在 0 时刻进行信用交易, 而剩下的部分则在在 t 时刻进行实物交易, 这个比例就取决于质押率 ω , 此时生态价值回报为 $[\omega\bar{\theta}MP_c(1 - i) + (1 - \omega)\bar{\theta}MP_cD(t)]$ 。

3.2 支付矩阵构建

基于以上假设和参数设定, 构建海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制中政府、第三方服务机构和渔企三方的支付矩阵, 见表 2。

3.3 均衡点求解

3.3.1 期望函数构建

(1) 政府的期望收益

政府选择激励和无作为策略的期望收益为 U_{11} 和 U_{12} :

$$U_{11} = z \left(\varepsilon E - \varepsilon s \bar{\theta} M - \varepsilon \frac{M}{\alpha} \tau \right) - C_1 + \frac{M}{\alpha} \tau \quad (3)$$

$$U_{12} = 0 \quad (4)$$

政府的平均期望收益为 \bar{U}_1 :

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= xU_{11} + (1 - x)U_{12} \\ &= x \left[z \left(\varepsilon E - \varepsilon s \bar{\theta} M - \delta \frac{M}{\alpha} \tau \right) - C_1 + \frac{M}{\alpha} \tau \right] \end{aligned} \quad (5)$$

(2) 第三方服务机构的期望收益

第三方服务机构选择开展碳质押信贷业务和

表 2 三方博弈主体支付矩阵

Table 2 Three-party game subject payoff matrix

				渔企	
				采取海洋牧场模式	采取传统养殖模式
政府	激励	第三方服务机构	开展蓝碳质押信贷业务	$\varepsilon E - \varepsilon s \bar{\theta} M + (1 - \varepsilon) \frac{M}{\alpha} \tau - C_1$ $\varepsilon(\bar{\theta}MP_c\omega i - B) + (1 - \varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c\omega(1 + i)] - C_2 - \Delta C_2$ $MP_1D(t) - C_3M - (1 - \varepsilon)(L + \frac{M}{\alpha}\tau)D(t) +$ $\varepsilon[BD(t) + s\bar{\theta}M + \omega\bar{\theta}MP_c(1 - i) + (1 - \omega)\bar{\theta}MP_cD(t) - \Delta C_3M]$	$\frac{M}{\alpha}\tau - C_1$ $-(C_2 + \Delta C_2)$ $MP_1D(t) - C_3M - \frac{M}{\alpha}\tau D(t)$
			开展蓝碳交易业务	$\varepsilon E - \varepsilon s \bar{\theta} M + (1 - \varepsilon) \frac{M}{\alpha} \tau - C_1$ $\bar{\theta}MP_c r - C_2$ $MP_1D(t) - C_3M - (1 - \varepsilon) \frac{M}{\alpha} \tau D(t) + \varepsilon[s\bar{\theta}M + \bar{\theta}MP_cD(t) - \Delta C_3M]$	$\frac{M}{\alpha}\tau - C_1$ $-C_2$ $MP_1D(t) - C_3M - \frac{M}{\alpha}\tau D(t)$
			无作为	0	0
	无作为	第三方服务机构	开展蓝碳质押信贷业务	$\varepsilon(\bar{\theta}MP_c\omega i - B) + (1 - \varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c\omega(1 + i)] - C_2 - \Delta C_2$ $MP_1D(t) - C_3M - (1 - \varepsilon)LD(t) +$ $\varepsilon[BD(t) + \omega\bar{\theta}MP_c(1 - i) + (1 - \omega)\bar{\theta}MP_cD(t) - \Delta C_3M]$	$-(C_2 + \Delta C_2)$ $MP_1D(t) - C_3M$
			开展蓝碳交易业务	0 $\bar{\theta}MP_c r - C_2$ $MP_1D(t) - C_3M + \varepsilon[\bar{\theta}MP_cD(t) - \Delta C_3M]$	0 $-C_2$ $MP_1D(t) - C_3M$

碳交易业务的期望收益为 U_{21} 和 U_{22} :

$$U_{21} = z\{\varepsilon(\bar{\theta}MP_c\omega i - B) + (1 - \varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c\omega(1 + i)]\} - C_2 - \Delta C_2 \quad (6)$$

$$U_{22} = z\bar{\theta}MP_c r - C_2 \quad (7)$$

第三方服务机构的平均期望收益为 \bar{U}_2 :

$$\bar{U}_2 = yU_{21} + (1 - y)U_{22} = z\bar{\theta}MP_c r - C_2 + y\{z\{\varepsilon(\bar{\theta}MP_c\omega i - B) + (1 - \varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c\omega(1 + i)] - \bar{\theta}MP_c r\} - \Delta C_2\} \quad (8)$$

(3) 渔企的期望收益

渔企采用海洋牧场模式和传统养殖模式的期望收益为 U_{31} 和 U_{32} :

$$U_{31} = MP_1 D(t) + \varepsilon[\bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M] - C_3 M + x\left[\varepsilon s\bar{\theta}M - (1 - \varepsilon)\frac{M}{\alpha}\tau D(t)\right] + \quad (9)$$

$$y\{\varepsilon[BD(t) + \omega\bar{\theta}MP_c(1 - i) - \omega\bar{\theta}MP_c D(t)] - (1 - \varepsilon)LD(t)\}$$

$$U_{32} = MP_1 D(t) - C_3 M - x\frac{M}{\alpha}\tau D(t) \quad (10)$$

渔企的平均期望收益为 \bar{U}_3 :

$$\bar{U}_3 = MP_1 D(t) - C_3 M - x\frac{M}{\alpha}\tau D(t) + z\{\varepsilon[\bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M] + x\varepsilon\left[s\bar{\theta}M + \frac{M}{\alpha}\tau D(t)\right] + (11) \\ y\{\varepsilon[BD(t) + \omega\bar{\theta}MP_c(1 - i) - \omega\bar{\theta}MP_c D(t)] - (1 - \varepsilon)LD(t)\}\}$$

3.3.2 基于复制动态方程的均衡点求解

根据以上参与主体的期望收益,计算政府选择激励策略、第三方服务机构选择开展碳质押信贷策略和渔企选择海洋牧场模式策略的复制动态方程,分别设为 $L_1(x)$ 、 $L_2(y)$ 和 $L_3(z)$ 。

$$L_1(x) = \frac{dx}{dt} = x(1 - x)(U_{11} - U_{12}) \\ = x(1 - x)\left[z\left(\varepsilon E - \varepsilon s\bar{\theta}M - \varepsilon\frac{M}{\alpha}\tau\right) - C_1 + \frac{M}{\alpha}\tau\right] \quad (12)$$

$$L_2(y) = \frac{dy}{dt} = y(1 - y)(U_{21} - U_{22}) \\ = y(1 - y)\{z\{\varepsilon(\bar{\theta}MP_c\omega i - B) + (1 - \varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c\omega(1 + i)] - \bar{\theta}MP_c r\} - \Delta C_2\} \quad (13)$$

$$L_3(z) = \frac{dz}{dt} = z(1 - z)(U_{31} - U_{32}) \\ = z(1 - z)\{\varepsilon[\bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M] + x\varepsilon\left[s\bar{\theta}M + \frac{M}{\alpha}\tau D(t)\right] + y\{\varepsilon[BD(t) + \omega\bar{\theta}MP_c(1 - i) - \omega\bar{\theta}MP_c D(t)] - (1 - \varepsilon)LD(t)\}\} \quad (14)$$

令 $L_1(x) = 0$ 、 $L_2(y) = 0$ 和 $L_3(z) = 0$ 同时成立,得到 8 个均衡点: $(0, 0, 0)$ 、 $(1, 0, 0)$ 、 $(0, 1, 0)$ 、 $(0, 0, 1)$ 、 $(0, 1, 1)$ 、 $(1, 0, 1)$ 、 $(1, 1, 0)$ 、 $(1, 1, 1)$ 。

3.4 均衡点的稳定性分析

根据 Friedman^[21]的均衡点稳定性理论可知,演化博弈模型中三方主体的演化稳定策略(Evolutionarily Stable Strategy, ESS),可以通过雅可比矩阵的特征值符号来进行判别。具体来看,当 (x_0, y_0, z_0) 使雅可比矩阵的特征值同时全部为负值时, (x_0, y_0, z_0) 为 ESS; 当 (x_0, y_0, z_0) 使雅可比矩阵至少一个特征值为正值时, (x_0, y_0, z_0) 为不稳定点; 当 (x_0, y_0, z_0) 使雅可比矩阵存在一个特征值为 0 时, (x_0, y_0, z_0) 为鞍点。且多种群演化博弈中的稳定解为严格纳什均衡,而严格纳什均衡一定是纯策略。因此,为分析以上 8 个均衡点的稳定性,分别计算了不同均衡点下雅可比矩阵特征值并对其符号进行判别,如表 3 所示。

由表 3 可知,随着外界环境的变化, $(1, 0, 0)$ 、 $(0, 1, 1)$ 和 $(1, 1, 1)$ 这 3 个均衡点可能成为 ESS。接下来,将在无时间偏好 ($D(t) = 1$) 和强时间偏好 ($D(t) = 0$) 这两种极端情况下讨论海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制中各主体的演化稳定策略。

3.4.1 渔企无时间偏好情形

(1) 当 $\frac{M}{\alpha}\tau > C_1$ 且 $\Delta C_3 M > s\bar{\theta}M + \frac{M}{\alpha}\tau + \bar{\theta}MP_c$ 时, ESS 为 $(1, 0, 0)$ 。当政府征收的环境保护税大于政策实施成本,且渔企相较于传统养殖模式,采用海洋牧场模式支付的额外投资成本大于其获得的政府补贴、节约的环境保护税和蓝碳现货交易收益之和时,演化稳定策略为政府激励、第三方服务机构开展蓝碳交易业务、渔企采用传统养殖模式。此时,只有存在蓝碳交易、政府激励等生态产品价值实现直接机制,基于金融工具的间接机制消失,同时政府激励政策失效,整个社会处于资源配置无效状态。

(2) $C_1 + \varepsilon s\bar{\theta}M > \varepsilon E + (1 - \varepsilon)\frac{M}{\alpha}\tau$, $\varepsilon(\bar{\theta}MP_c\omega i - B) + (1 - \varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c\omega(1 + i)] - \Delta C_2 > \bar{\theta}MP_c r$ 且 $(1 - \varepsilon)L < \varepsilon[B + \bar{\theta}MP_c - \omega\bar{\theta}MP_c i - \Delta C_3 M]$ 时, ESS 为 $(0, 1, 1)$ 。当政府支出的补贴金额和政策实施成本之和大于生态效益 and 环境保护税之和,第三方服务机构开展

2022年12月

表3 不同均衡解下雅可比矩阵特征值符号及稳定性结果

Table 3 Eigenvalue symbols and stability results of the Jacobian matrix under different equilibrium solutions

均衡点	特征值($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$)	符号	稳定性
(0, 0, 0)	$\frac{M}{\alpha}\tau - C_1, -\Delta C_2, \varepsilon[\bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M]$	(+, -, N)	不稳定
(1, 0, 0)	$-\left(\frac{M}{\alpha}\tau - C_1\right), -\Delta C_2, \varepsilon\left[s\bar{\theta}M + \frac{M}{\alpha}\tau D(t) + \bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M\right]$	(-, -, N)	ESS
(0, 1, 0)	$\frac{M}{\alpha}\tau - C_1, \Delta C_2, \varepsilon[BD(t) + \omega\bar{\theta}MP_c(1-i) + (1-\omega)\bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M] - (1-\varepsilon)LD(t)$	(+, +, N)	不稳定
(0, 0, 1)	$\varepsilon E + (1-\varepsilon)\frac{M}{\alpha}\tau - C_1 - \varepsilon s\bar{\theta}M, \varepsilon(\bar{\theta}MP_c \omega i - B) + (1-\varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c \omega(1+i)] - \bar{\theta}MP_c r - \Delta C_2,$ $-\varepsilon[\bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M]$	(N, +, N)	不稳定
(0, 1, 1)	$\varepsilon E + (1-\varepsilon)\frac{M}{\alpha}\tau - C_1 - \varepsilon s\bar{\theta}M, -\{\varepsilon(\bar{\theta}MP_c \omega i - B) + (1-\varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c \omega(1+i)] - \bar{\theta}MP_c r - \Delta C_2\},$ $-\{\varepsilon[BD(t) + \omega\bar{\theta}MP_c(1-i) + (1-\omega)\bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M] - (1-\varepsilon)LD(t)\}$	(N, -, N)	ESS
(1, 0, 1)	$-\left[\varepsilon E + (1-\varepsilon)\frac{M}{\alpha}\tau - C_1 - \varepsilon s\bar{\theta}M\right], \varepsilon(\bar{\theta}MP_c \omega i - B) + (1-\varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c \omega(1+i)] - \bar{\theta}MP_c r - \Delta C_2,$ $-\varepsilon\left[s\bar{\theta}M + \frac{M}{\alpha}\tau D(t) + \bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M\right]$	(N, +, N)	不稳定
(1, 1, 0)	$-\left(\frac{M}{\alpha}\tau - C_1\right), \Delta C_2, \varepsilon\left[s\bar{\theta}M + \frac{M}{\alpha}\tau D(t) + BD(t) + \omega\bar{\theta}MP_c(1-i) + (1-\omega)\bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M\right] - (1-\varepsilon)LD(t)$	(-, +, N)	不稳定
(1, 1, 1)	$-\varepsilon E - (1-\varepsilon)\frac{M}{\alpha}\tau + C_1 + \varepsilon s\bar{\theta}M, -\{\varepsilon(\bar{\theta}MP_c \omega i - B) + (1-\varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c \omega(1+i)] - \bar{\theta}MP_c r - \Delta C_2\},$ $-\left\{\varepsilon\left[s\bar{\theta}M + \frac{M}{\alpha}\tau D(t) + BD(t) + \omega\bar{\theta}MP_c(1-i) + (1-\omega)\bar{\theta}MP_c D(t) - \Delta C_3 M\right] - (1-\varepsilon)LD(t)\right\}$	(N, -, N)	ESS

注:“+”表示正值,“-”表示负值,“N”表示不确定。

蓝碳质押信贷的期望净收益大于开展蓝碳交易的净收益,且海洋牧场模式下渔企顺利经营获得的守约奖励和支付的信贷利息、额外的建设投资成本之和大于支付的违约成本时,演化稳定策略为政府无作为、第三方服务机构开展蓝碳质押信贷业务、渔企采取海洋牧场模式。此时,蓝碳生态产品价值实现机制呈现“直接机制+间接机制”并存的局面,同时整个社会在无政府干预的前提下,实现了资源的优化配置,进入帕累托均衡状态。

(3) $\varepsilon E + (1-\varepsilon)\frac{M}{\alpha}\tau > C_1 + \varepsilon s\bar{\theta}M, \varepsilon(\bar{\theta}MP_c \omega i - B) + (1-\varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c \omega(1+i)] - \Delta C_2 > \bar{\theta}MP_c r$, 且 $(1-\varepsilon)L < \varepsilon\left[s\bar{\theta}M + \frac{M}{\alpha}\tau + B - \omega\bar{\theta}MP_c i + \bar{\theta}MP_c - \Delta C_3 M\right]$ 时, ESS 为 (1, 1, 1)。当政府获得的生态效益和征收的环境保护税之和大于支付的补贴金额和政策实施成本之和,第三方服务机构开展蓝碳质押信贷的期望净收益大于开展蓝碳交易业务的收益,且渔企顺利经营下获得的政府补贴、蓝碳现货收益、节约的环境保护税、支付的信贷利息和额外的海洋牧场投资成本之和大于支付的违约成本时,演化稳定策略为政府激励、第三方服务机构开展蓝碳质押信贷业务、渔企采取海洋牧场模式。此时,蓝碳成为碳交易市场的交易对象之一,蓝碳生态产品价值间接实现机制

出现,但政府的参与可能会导致整体社会福利产生部分无谓损失。

3.4.2 渔企存在强时间偏好情形

(1) 当 $\frac{M}{\alpha}\tau > C_1$ 且 $\Delta C_3 M > s\bar{\theta}M$ 时, ESS 为 (1, 0, 0), 演化稳定策略为政府激励、第三方服务机构开展蓝碳交易业务、渔企采取传统养殖模式。但不同于 3.4.1 小节中的情形(1), 此时, 各方的策略行为几乎完全取决于政府激励这一直接机制, 蓝碳交易、蓝碳质押信贷等市场化生态产品价值实现机制完全失效。政府的负向激励程度越弱, 正向激励程度越强, 越有利于打破这种资源配置失效状态。

(2) $C_1 + \varepsilon s\bar{\theta}M > \varepsilon E + (1-\varepsilon)\frac{M}{\alpha}\tau, \varepsilon(\bar{\theta}MP_c \omega i - B) + (1-\varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c \omega(1+i)] - \Delta C_2 > \bar{\theta}MP_c r$, 且 $\Delta C_3 M < \omega\bar{\theta}MP_c(1-i)$ 时, ESS 为 (0, 1, 1)。这与 3.4.1 小节中的情形(2)类似, 但不同点在于, 此时质押率 ω 对蓝色碳汇市场的正向影响更加显著。质押率越大, 越能有效缓解渔企时间偏好对蓝碳市场的抑制作用。

(3) $\varepsilon E + (1-\varepsilon)\frac{M}{\alpha}\tau > C_1 + \varepsilon s\bar{\theta}M, \varepsilon(\bar{\theta}MP_c \omega i - B) + (1-\varepsilon)[L - \bar{\theta}MP_c \omega(1+i)] - \Delta C_2 > \bar{\theta}MP_c r$, 且 $\Delta C_3 M < s\bar{\theta}M + \omega\bar{\theta}MP_c(1-i)$ 时, ESS 为 (1, 1, 1)。这与 3.4.1 中的情形(3)类似, 但不同点在于: 此时, 蓝碳现货

交易业务、银行的信贷奖惩和政府的环境保护税等生态产品价值“远期”实现措施对海洋牧场模式的推动作用完全消失,只有蓝碳质押信贷和政府的期初补贴等“即期”实现措施才是有效的,且政府补贴率、银行质押率越高,蓝碳质押信贷利率越低,越有利于提高渔企采取海洋牧场模式的积极性。

对比以上结果,发现渔企的时间偏好通过直接影响渔企的得益感知值,进而间接影响了海洋牧场及其蓝碳生态产品市场的发展。如3.4.2中小节第(1)–(3)种情况所示,因为渔企强烈的时间偏好可能会导致蓝碳现货交易、政府环境保护税、银行信贷奖惩等蓝碳生态产品价值实现工具的失效。因此,相比于蓝碳交易,蓝碳质押信贷是更加有效的海洋牧场生态产品价值实现方式,能更有效地降低渔企时间偏好对蓝碳市场的抑制影响。同时,质押率越大,越能有效降低渔企时间偏好对蓝碳市场的抑制影响,且相比于无时间偏好,渔企存在时间偏好时质押率对蓝色碳汇市场的正向影响更加显著。

此外,除了时间偏好、质押率、政府补贴率 and 环境保护税率等,第三方服务机构开展蓝碳质押信贷意愿、碳价也是影响海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的重要因素。因此,接下来将重点仿真分析以上关键参数对海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的影响效果。

4 模型仿真分析

4.1 参数赋值

参考文献[10]中海洋牧场的相关数据,以山东荣成市桑沟湾海域国家级海洋牧场浅水区一个1600 m²人工鱼礁的栉孔扇贝养殖亩为例,进行参数设置。一个培养期内,该养殖亩的栉孔扇贝产量为2511 kg,大约18万个,投入固定建设和养殖总成本11500元,即每单位质量栉孔扇贝的投资成本为4.58元/kg,获得政府投资建设补贴20元/kg。浅水

区栉孔扇贝单位个体固碳量为1.82 g/个体,即一个培养期栉孔扇贝的总固碳量为175 kg,单位质量的栉孔扇贝碳汇增量为0.070 kg,每单位质量蓝碳生态产品补贴参考广州市针对碳普惠平台签发的项目补贴政策^①,为10元/t。若采用传统渔业形式养殖栉孔扇贝,每单位质量栉孔扇贝的投资成本为1.92元/kg,碳源增量为0.065 kg,需缴纳的环境保护税率为20元/t。蓝碳价格,参考2021年6月国家核证自愿减排量卖出预期价格62元/t。一旦蓝碳质押信贷逾期违约,违约金需覆盖贷款本息。

2021年8月10日,山东威海市荣成农商银行向威海长青海洋科技股份有限公司发放了全国首笔海洋碳汇贷。该公司以当年产生的42.5万t减排量远期收益权为质押标的,按照当日碳排放交易开盘价格44元/t计算质押,获得2000万元的质押贷款。由此推算,质押率为1.05。质押信贷利率参考绿色信贷利率,设为3.8%。目前碳交易市场公益属性突出,因此其利润率偏低,设为3.0%。假设该案例的平均碳交易业务成本为200元,蓝碳质押信贷业务除了支付以上成本,还需支付额外的监管成本10元,以及支付给渔企的守信奖励5元。

据农业部通知^[9],每年通过贝藻类增值养殖,可固碳19万t,生态效益超604亿元。因此,该案例可带给政府生态效益5000元,消耗政府政策实施成本100元。同时假设时间偏好系数初始值为0.3,市场无风险利率为5.0%。具体参数设定如表4所示。

假设两个培养期内,第三方服务机构和渔企的初始参与意愿均为0.5,而政府作为管理者,采取激励策略的意愿为1。因此,接下来通过改变 β 、 s 、 y 、 ω 、和 P_c 等参数值,重点讨论渔企时间偏好、政府激励和蓝碳交易等直接机制、蓝碳质押信贷间接机制的相关参数对第三方服务机构和渔企策略行为的影响,而政府因激励意愿始终为1而暂不讨论。

表4 参数赋值
Table 4 Parameter setting

参数	$\bar{\theta}$	ρ	M	P_c	ε	ω	ΔC_2	i	r	ΔC_3	s	τ
数值	0.07	0.065	250	62	0.8	1	1	3.8%	3.0%	2000	10	20
参数	B	L	C_1	E	β	δ						
数值	5	800	100	5000	0.3	5%						

① 资料来源:广州市人民政府于2021年5月20日发布的关于《广州市黄埔区 广州开发区 广州高新区促进绿色低碳发展办法》的通知,详见网址:<http://www.transverinno.com/2588.html>。

2022年12月

4.2 渔企时间偏好对演化稳定策略的影响

由图2可知,渔企时间偏好对海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的可持续运作产生抑制作用。当渔企无时间偏好($\beta=1.0, \lambda=0.00$)和存在弱时间偏好($\beta=0.7, \lambda=0.05$)时,ESS为(1, 1, 1),蓝碳交易市场和蓝碳质押市场同时出现,海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制实现市场化、可持续运作。当渔企存在强时间偏好($\beta=0.1, \lambda=0.05$)时,ESS为(1, 0, 0)。这说明随着渔企时间偏好的逐渐增强,第三方服务机构的均衡策略由开展蓝碳质押信贷转变为蓝碳交易,渔企的均衡策略也由海洋牧场模式转变为传统养殖模式,整个海洋牧场及其蓝碳市场消失。因此,渔企的时间偏好越强烈,越不利于海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的市场化、可持续运作。原因在于海洋牧场蓝碳产品的投资周期较长,一般约为1~3年。具有强时间偏好的渔企会更看重当前的收益,而不愿意投资这种长期项目,这进而阻碍了海洋牧场蓝碳生态产品机制的形成和运作。

为验证各生态产品价值实现工具对纠正跨期价值转换偏差的作用,接下来将固定时间偏好参数 $\beta=0.5$,从直接和间接两个方面入手,探讨渔企时间偏好下海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制及其可持续性。

4.3 直接机制相关参数对演化稳定策略的影响

海洋牧场蓝碳生态产品价值的直接实现机制包括政府激励和蓝碳现货交易两种工具,其中政府激励主要涉及补贴率、环境保护税率参数,蓝碳现

货交易主要涉及蓝碳交易价格参数。

(1) 政府补贴率

由图3可知,政府补贴率 s 可有效推动海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的市场化、可持续运作。当 $s=300$ 时,均衡点为(1.00, 0.06, 0.00),此时只有6%的第三方服务机构会开展蓝碳质押信贷业务,100%的渔企选择传统养殖模式。也就是说,在政府大力宣传和帮助下,渔企依然坚持传统养殖,蓝碳交易市场停滞,社会资源配置处于无效状态。随着 s 不断增加,出现ESS(1, 1, 1),第三方服务机构开展蓝碳质押信贷业务的概率由6%上升为100%,渔企选择海洋牧场模式的概率由0%上升为100%。这表明政府的补贴政策发挥了社会资源配置作用,且补贴金额越高,社会能更快地达到帕累托均衡状态。

(2) 环境保护税

由图4可知,环境保护税率 τ 也有利于推动海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的市场化运作,且相较于补贴,作用更为显著。存在阈值 τ^* ($10 < \tau^* < 15$),当 $\tau < \tau^*$ 时,ESS为(1, 0, 0),此时政府激励下,第三方服务机构和渔企依然选择不参与海洋牧场及其蓝碳市场;当 $\tau > \tau^*$ 时,ESS为(1, 1, 1),此时由于政府加大了对传统养殖模式下渔企碳排放行为的惩罚力度,渔企采取海洋牧场模式的概率由0%变为100%,为满足市场需求,第三方服务机构开展蓝碳质押信贷业务的概率也由0%变为100%,海洋牧场及其蓝碳市场出现且呈现繁荣状态。

综上,政府补贴和环境保护税,前者通过增加渔企建立海洋牧场的经济收益,后者通过提高渔企

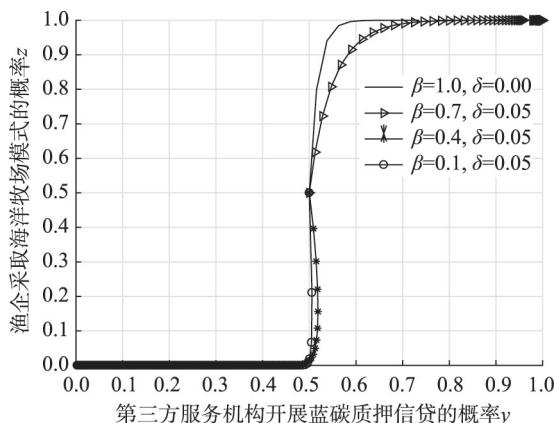


图2 渔企时间偏好 β 变动对演化稳定策略的影响

Figure 2 The effect of time preference on evolutionary stability strategy

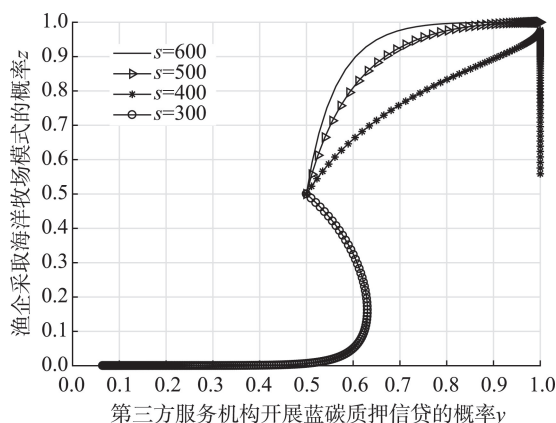


图3 政府补贴率 s 的影响

Figure 3 The effect of subsidy

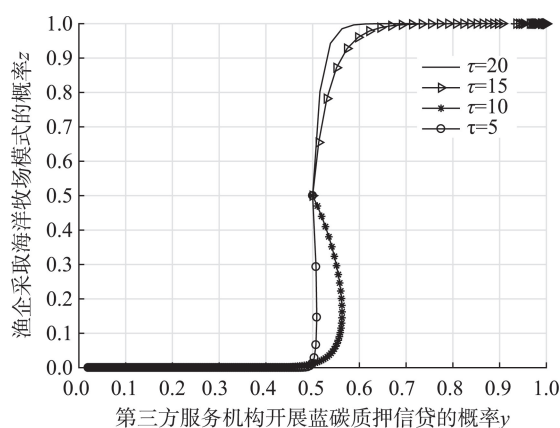
图4 环境保护税 τ 的影响

Figure 4 The effect of environmental protection tax

坚持传统养殖的经济成本,均能有效促进海洋牧场及其蓝碳市场的良性发展;同时不难发现,相较于补贴这一正激励手段,环境保护税征收这一负激励手段对海洋牧场蓝碳生态产品市场的推动作用更强。对此,盖美等^[22]基于环渤海地区海洋生态环境质量的实证数据,也得出了相似的结论:无论是整体还是分区域来看,在众多影响因素中,环境规制都是对海洋生态环境直接贡献强度最大的因素。

(3) 蓝碳现货价格

由图5可知,蓝碳现货价格 P_c 对海洋牧场蓝碳生态产品市场发展的影响较为复杂。当 $P_c=100$ 时,ESS为(1, 0, 0),第三方服务机构选择开展蓝碳质押信贷业务的概率和渔企采取海洋牧场模式的概率均为0%;当 P_c 上升到200时,均衡点为(1.0, 1.0, 0.2),第三方服务机构选择开展蓝碳质押信贷业务的概率上升为100%,而渔企采取海洋牧场模式的

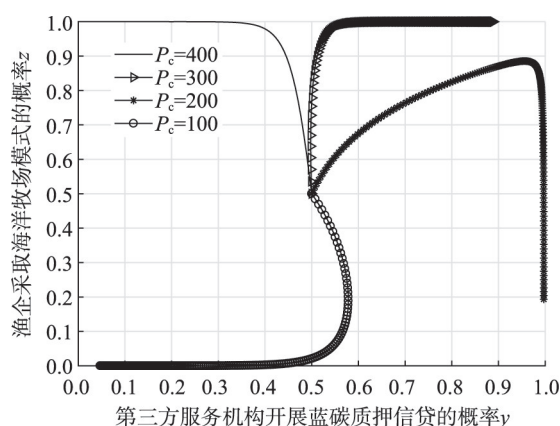
图5 蓝碳现货价格 P_c 的影响

Figure 5 The effect of blue carbon sink prices

概率才上升到20%;当 P_c 上升至300时,均衡点为(1.0, 0.9, 1.0),第三方服务机构选择开展蓝碳质押信贷业务的概率下降为90%,而渔企采取海洋牧场模式的概率继续上升至100%;当 $P_c \geq 400$ 时,ESS为(1, 0, 1),第三方服务机构选择开展蓝碳质押信贷业务的概率下降为0%,而渔企采取海洋牧场模式的概率仍然保持100%。这表明,蓝碳现货价格越高,渔企采取海洋牧场模式的意愿越高,但对第三方服务机构开展蓝碳质押信贷业务的意愿产生倒“V”型影响,即先促进后抑制。这是因为相比于蓝碳质押信贷业务,蓝碳现货交易的业务成本更低,在蓝碳现货价格不断上涨的情况下,第三方服务机构更愿意开展低成本业务,以扩大利润空间。总体来看,蓝碳现货价格越高,越有利于推动海洋牧场蓝碳生态产品市场的发展,这从侧面支持了学者“建立独立的蓝碳交易市场体系、提高蓝碳交易价格”的观点^[10,23]。

4.4 间接机制相关参数对演化稳定策略的影响

海洋牧场蓝碳生态产品价值的间接实现机制主要指蓝碳质押信贷工具,相关参数包括银行针对按期还款渔企的守信奖励、针对逾期违约渔企的违约金以及业务成本等。

(1) 信贷风险系数

由图6可知,因渔企运营失败而产生的信贷风险 $(1-\varepsilon)$ 越低,越有利于推动海洋牧场及其蓝碳生态产品市场的有序发展。当信贷风险水平较高($\varepsilon=0.5$)时,均衡点为(1.00, 0.27, 0.00),此时第三方服务机构开展蓝碳质押信贷业务的概率不高,只有27%,而渔企也因为运营风险过高而放弃海洋牧场模

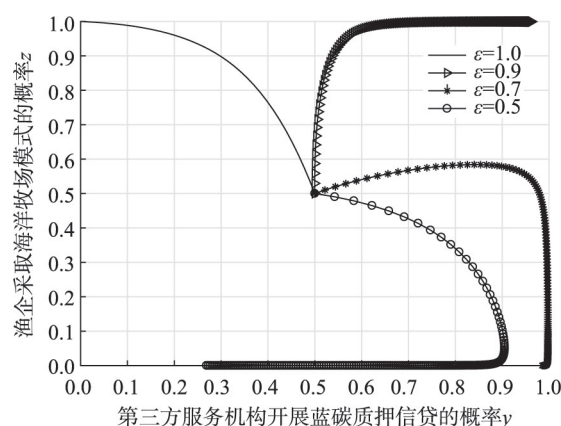
图6 信贷风险系数 $(1-\varepsilon)$ 的影响

Figure 6 The effect of credit risk coefficient

2022年12月

式。随着信贷风险下降,第三方服务机构开展蓝碳质押信贷业务的概率率先提升至100%($\varepsilon=0.7$),而后渔企才开始逐渐提高了采取海洋牧场模式的概率,最终达到100%($\varepsilon=0.9$)。但值得注意的是,当信贷风险完全消失($\varepsilon=1.0$)时,ESS为(1, 0, 1),即在不存在信贷风险的情况下,第三方服务机构却放弃开展蓝碳质押信贷业务,这是因为高额的违约金,提高了第三方服务机构的信贷风险承受力。

(2) 质押率

如图7所示,较高的质押率 ω 能显著提升渔企采取海洋牧场模式的意愿,但对第三方服务机构行为的影响不显著。当 $\omega=0.5$ 时,ESS为(1, 1, 0),渔企采取海洋牧场模式的概率为0%;随着 ω 的不断增加,渔企采取海洋牧场模式的概率开始逐渐提升,由0%先后增加到15%和74%;最终当 $\omega=2.0$ 时,渔企以100%的概率采取海洋牧场模式;在这个过程中,第三方服务机构始终坚持开展蓝碳质押信贷业务。可见,提高质押率可有效推动海洋牧场及其蓝碳市场的可持续发展。

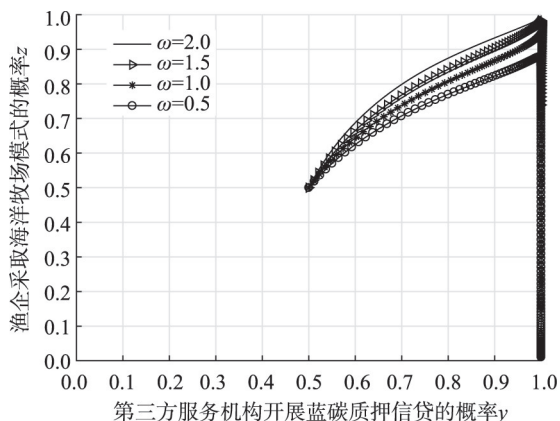


图7 质押率 ω 的影响

Figure 7 The effect of pledge rate

(3) 守信奖励

如图8所示,银行针对渔企的信贷奖惩机制对推动海洋牧场及其蓝碳市场的可持续发展也是有效的。因违约金罚款与守信奖励对参与方的影响效果相类似,在此以守约奖励为例展开仿真分析。针对按期还款渔企的守信奖励 B 应适中,因为过高会因增加第三方服务机构的业务成本而抑制其开展蓝碳质押信贷业务的积极性($B=25, 35$),过低会因降低了渔企的利润空间而抑制其采取海洋牧场

模式的积极性($B=5$)。同样,违约金过高会抑制渔企的积极性,过低会抑制第三方服务机构的积极性。因此,无论是守信奖励还是违约金都应适中,过高或过低均不利于实现海洋牧场及其蓝碳生态产品市场的良性发展。

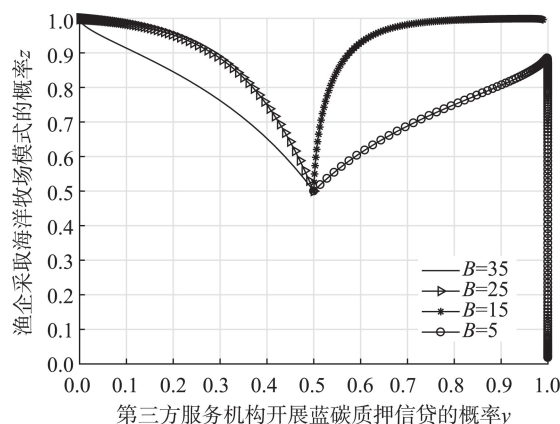


图8 守信奖励 B 的影响

Figure 8 The effect of keeping credit rewards

5 结论与政策建议

5.1 结论

针对参与主体单一、生态价值回报不足、跨期价值转换偏差等问题,本文在考虑渔企时间偏好的情境下,从直接和间接两种机制入手重构了海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制,构建了包含政府、第三方服务机构和渔企三方的演化博弈模型,探析了其有效性。研究结论如下:

(1) 渔企时间偏好对海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制市场化、可持续运作产生抑制作用,且对渔企自身的策略选择影响最显著,其次是对第三方服务机构,最后是对政府。

(2) 在直接实现机制中,补贴金额和环境保护税越高,越有利于推动海洋牧场及其蓝碳生态产品市场的有序发展;且相较于补贴,环境保护税这一负激励的推动作用更强;蓝碳现货价格越高,渔企采取海洋牧场模式的意愿越高,但对第三方服务机构开展蓝碳质押信贷业务的意愿产生倒“V”型影响,即先促进后抑制。

(3) 在间接实现机制中,信贷风险越低,质押率越高,越有利于推动海洋牧场及其蓝碳生态产品市场的有序发展,而守信奖励、违约金等信贷奖惩措施应适中,过高或过低均会因抑制一方参与者的积

极性而不利于实现海洋牧场及其蓝碳生态产品市场的良性发展。

5.2 政策建议

基于以上研究结论,为缓解时间偏好对渔企海洋牧场投融资决策的影响,本文从价值实现方式、蓝碳质押率、蓝碳交易价格等方面入手,提出了关于建立健全海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的对策建议:

(1)以纠正跨期价值转换偏差为目标,搭建海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制

针对渔企时间偏好,亟需借助于市场手段,建立“蓝碳交易+蓝碳质押”的海洋牧场生态产品价值实现机制。首先,建立蓝碳交易市场体系,完善蓝碳有限期限、准入门槛、核定标准等交易管理制度,逐渐提高市场对蓝碳生态产品的认可度,这既有利于实现短期内海洋牧场生态产品价值实现机制的有效运作,又为后期蓝碳质押业务提供市场基础;然后,在成熟的蓝碳交易市场基础上,创新蓝碳作为信用工具的“现期交易”模式,完善蓝碳核算、认证和担保等第三方服务体系,重点发展蓝碳质押信贷业务,缓解长期内渔企时间偏好对海洋牧场生态产品价值实现机制可持续运作的抑制影响。

(2)针对渔企时间偏好不一致性,设定动态蓝碳质押信贷奖惩机制

就现有信贷奖惩措施来看,违约金较一般不超过实际损失的30%,信用奖励也普遍较低,这不利于中国海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的可持续运作。因此,金融机构需结合绿色信贷、未来收益权质押信贷等现实案例,综合考虑政策、市场、企业等外部因素,确定一个合理的信贷奖惩区间;在此区间内,根据渔企时间偏好不一致性,动态化设定蓝碳质押信贷奖惩力度,实行“短期偏低、小幅波动、长期适中”的蓝碳质押信贷奖惩措施。切忌奖惩力度过高,这会影响渔企或第三方服务机构中某一方的得益,进而抑制其积极性。

(3)建立一套相对独立、科学合理、高于当前碳交易市场价格蓝碳交易价格体系

据本文研究结果,以全国碳排放权交易市场当日碳排放交易价格为依据,核算蓝碳质押物价值,可能会使海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制运作陷入停滞状态。应综合考虑蓝碳与其他碳资产

在投入成本、投资时间、市场风险等方面的差异,建立一套相对独立、科学合理、高于当前碳交易价格的蓝碳交易价格体系,这样才能支撑蓝碳质押信贷市场的建立,进而提高海洋牧场生态产品价值实现机制的有效性。

蓝碳产权的界定不清、蓝碳数量的测算模糊是阻碍海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制顺利实行的关键因素,也是本文研究的不足之处。因此,考虑市场主体的非理性偏好,结合生态系统服务付费、产权以及福利经济学等理论,对蓝碳产权的内涵、价值及其可质性进行剖析,构建蓝碳数量测算指标及模型,以夯实海洋牧场蓝碳生态产品价值实现机制的理论基础,提高其测算准确度,这是未来研究工作的重点内容。

参考文献(References):

- [1] 唐启升,蒋增杰,毛玉泽. 渔业碳汇与碳汇渔业定义及其相关问题的辨析[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(5): 1-7. [Tang Q S, Jiang Z J, Mao Y Z. Clarification on the definitions and its relevant issues of fisheries carbon sink and carbon sink fisheries[J]. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(5): 1-7.]
- [2] 孙博文. 建立健全生态产品价值实现机制的瓶颈制约与策略选择[J/OL]. 改革, (2022-05-12) [2022-12-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1012.F.20220512.0849.002.html>. [Sun B W. The bottleneck restriction and strategies of establishing and improving the value realization mechanism of ecological products[J/OL]. Reform, (2022-05-12) [2022-12-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1012.F.20220512.0849.002.html>.]
- [3] 农业部. 关于印发《国家级海洋牧场示范区建设规划(2017-2025年)》的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2018, (9): 58-65. [Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Circular on the Publication of the Plan for the Construction of National-level Demonstration Areas for Marine Pastures (2017-2025)[J]. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2018, (9): 58-65.]
- [4] 刘畅,刘耕源,廖少锴,等. 海洋生态产品及其价值实现路径[J]. 中国国土资源经济, 2022, 35(4): 51-63. [Liu C, Liu G Y, Liao S K, et al. Marine eco-products and their value realization path[J]. Natural Resource Economics of China, 2022, 35(4): 51-63.]
- [5] 高晓龙,林亦晴,徐卫华,等. 生态产品价值实现研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(1): 24-33. [Gao X L, Lin Y Q, Xu W H, et al. Research progress on the value realization of ecological products [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(1): 24-33.]
- [6] 沈金生,吕金诺,刘荣建. 我国海洋牧场蓝色碳汇补偿方案设计探讨[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2020, (3): 68-75.

2022年12月

- [Shen J S, Lv J N, Liu R J. A study on compensation scheme design of blue carbon sink for marine ranching in China[J]. *Journal of Ocean University of China (Social Sciences)*, 2020, (3): 68–75.]
- [7] 杨锐, 钟乐, 赵智聪. 基于消费端的自然保护地指标交易机制: 生态产品的价值实现[J]. *生态学报*, 2020, 40(18): 6687–6693. [Yang R, Zhong L, Zhao Z C. Research on consumer-based quota trading mechanism of protected areas: An innovative approach to achieve value of ecological products[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(18): 6687–6693.]
- [8] 牛玲. 碳汇生态产品价值的市场化实现路径[J]. *宏观经济管理*, 2020, (12): 37–42. [Niu L. The market-based path for realization of the value of carbon sink ecological products[J]. *Macroeconomic Management*, 2020, (12): 37–42.]
- [9] 张文明, 张孝德. 生态资源资本化: 一个框架性阐述[J]. *改革*, 2019, (1): 122–131. [Zhang W M, Zhang X D. The capitalization of ecological resources: An explanatory framework[J]. *Reform*, 2019, (1): 122–131.]
- [10] 沈金生, 梁瑞芳. 海洋牧场蓝色碳汇定价研究[J]. *资源科学*, 2018, 40(9): 1812–1821. [Shen J S, Liang R F. Study on the blue carbon sink pricing of marine ranch[J]. *Resources Science*, 2018, 40(9): 1812–1821.]
- [11] Wang Y Y, Guo T T, Cheng T C E, et al. Evolution of blue carbon trading of China's marine ranching under the blue carbon special subsidy mechanism[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2022, DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106123.
- [12] Wan X L, Li Q Q, Qiu L L, et al. How do carbon trading platform participation and government subsidy motivate blue carbon trading of marine ranching? A study based on evolutionary equilibrium strategy method[J]. *Marine Policy*, 2021, DOI: 10.1016/j.marpol.2021.104567.
- [13] 沈辉, 李宁. 生态产品的内涵阐释及其价值实现[J]. *改革*, 2021, (9): 145–155. [Shen H, Li N. The connotation interpretation and value realization of ecological products[J]. *Reform*, 2021, (9): 145–155.]
- [14] 金铂皓, 黄锐, 冯建美, 等. 生态产品供给的内生动力机制释析: 基于完整价值回报与代际价值回报的双重视角[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(7): 81–88. [Jin B H, Huang R, Feng J M, et al. Analysis on internal driving mechanism of eco-label product supply: From the perspectives of complete value and intergenerational value[J]. *China Land Science*, 2021, 35(7): 81–88.]
- [15] 甘丽蓉, 罗鹏飞, 杨招军. 时间偏好不一致下的或有资本定价及企业资本结构[J]. *系统管理学报*, 2019, 28(4): 644–651. [Gan L R, Luo P F, Yang Z J. Contingent capital, and capital structure with time-inconsistent preference[J]. *Journal of Systems & Management*, 2019, 28(4): 644–651.]
- [16] 甘柳, 杨波. 时间偏好不一致下控制权私利与最优股权结构[J]. *中国管理科学*, 2020, 28(6): 51–62. [Gan L, Yang B. Private benefits of control and optimal equity structure under time-inconsistent preferences[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2020, 28(6): 51–62.]
- [17] 罗鹏飞, 段依竺, 张勇. 时间偏好不一致企业家动态投资策略研究[J]. *中国管理科学*, 2022, 30(1): 54–63. [Luo P F, Duan Y Z, Zhang Y. Dynamic investment policy with time-inconsistent entrepreneur[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(1): 54–63.]
- [18] 白江迪, 沈月琴, 朱臻, 等. 农户风险和时时间偏好对森林碳汇经营意愿的影响分析[J]. *林业经济问题*, 2016, 36(1): 72–78. [Bai J D, Shen Y Q, Zhu Z, et al. The influence of risk and time preference on the farmer's willingness to manage forestry carbon sinks [J]. *Issues of Forestry Economics*, 2016, 36(1): 72–78.]
- [19] Mao H, Zhou L, Ying R Y, et al. Time preferences and green agricultural technology adoption: Field evidence from rice farmers in China[J]. *Land Use Policy*, 2021, DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105627.
- [20] Ihli H J, Chiputwa B, Winter E, et al. Risk and time preferences for participating in forest landscape restoration: The case of coffee farmers in Uganda[J]. *World Development*, 2022, DOI: 10.1016/j.worlddev.2021.105713.
- [21] Friedman D. Evolutionary games in economics[J]. *Econometrica*, 1991, 59(3): 637–666.
- [22] 盖美, 岳鹏, 杨苒菲. 环渤海地区海洋生态环境评价及影响因素识别[J]. *资源科学*, 2022, 44(8): 1645–1662. [Gai M, Yue P, Yang Q F. Assessment of marine ecological environment and identification of influencing factors in the Bohai Rim region[J]. *Resources Science*, 2022, 44(8): 1645–1662.]
- [23] 杨越, 陈玲, 薛澜. 中国蓝碳市场建设的顶层设计与策略选择[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(9): 92–103. [Yang Y, Chen L, Xue L. Top design and strategy selection of blue carbon market construction in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(9): 92–103.]

Ecological product value realization mechanism of marine ranch blue carbon sink under the influence of time preference

BAI Yu, DING Lili, ZHAO Xin

(School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Marine ranch is an important measure to promote the transformation and upgrading of marine fisheries and the construction of marine ecological civilization. The product value realization mechanism of its blue carbon sink is the key link to transform “green water and green mountains” into “golden mountains and silver mountains”. However, problems such as lack of multi-stakeholder participation, insufficient return of ecological value enhancement, and deviation of intertemporal value transformation seriously restrict the sustainable operation of the value realization mechanism of marine ranch blue carbon sink ecological products in China. In view of these, this study designed a product value realization mechanism of marine ranch blue carbon sink, which covers multiple heterogeneous subjects including the government, fishery enterprises, carbon trading centers, banks, and third-party service institutions using various tools of blue carbon sink trading and blue carbon sink pledge credit. The current income and future income can be converted in this mechanism and fishery enterprises’ time preference is also taken into account. The conclusions are as follows. The time preference of fishery enterprises has an effect on the marketization of the value realization mechanism of marine ranch blue carbon sink, and it has the most significant impact on the strategy choice of fishery enterprises, followed by the third-party service institutions and the government. In the direct realization mechanism, the higher the subsidy amount and environmental protection tax, the more conducive it is to promoting the development of marine ranching and its blue carbon sink market. Compared with subsidy, environmental protection tax is more powerful. The higher the blue carbon sink price the higher the fishing enterprises’ willingness to adopt the marine ranching model, but it promotes first and then suppresses the willingness of third-party service institutions to carry out blue carbon pledge credit business. In the indirect realization mechanism, the lower the credit risk and the higher the pledge rate, the more conducive it is to promoting the orderly development of marine ranching and its blue carbon sink market. The credit incentives and liquidated damages should be moderate. Too high or too low credit incentives and liquidated damages are not conducive to the healthy development of marine ranching and its blue carbon sink market.

Key words: marine ranch; blue carbon sink; realization mechanism of ecological product value; time preference of fishing enterprises; evolutionary game; numerical simulation; blue carbon sink pledge