

DOI: 10.20103/j.stxb.202401080066

付秀梅, 齐俏俏, 林春宇, 董嵩, 李晓楠, 王萍, 吴紫薇, 刘莹. 中国水产品贸易生态足迹时空演变与动态预测. 生态学报, 2024, 44(18): 8047-8061.  
Fu X M, Qi Q Q, Lin C Y, Dong S, Li X N, Wang P, Wu Z W, Liu Y. Spatial-temporal evolution and dynamic prediction of the ecological footprint of aquatic product trade in China. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(18): 8047-8061.

## 中国水产品贸易生态足迹时空演变与动态预测

付秀梅<sup>1</sup>, 齐俏俏<sup>1</sup>, 林春宇<sup>2,3</sup>, 董嵩<sup>4</sup>, 李晓楠<sup>1</sup>, 王萍<sup>5</sup>, 吴紫薇<sup>1</sup>, 刘莹<sup>1,\*</sup>

1 中国海洋大学经济学院, 青岛 266100

2 浙江大学海洋学院, 舟山 316021

3 浙江大学舟山海洋研究中心, 舟山 316021

4 青岛军民融合发展集团, 青岛 266500

5 青岛大学商学院, 青岛 266061

**摘要:** 国际贸易下的生态输入与输出在一定程度上会重新配置国家及地区之间的生态环境资源。中国在大力发展水产品贸易的同时, 也面临着由此带来的生态资源损失等问题。基于生态足迹模型测算 2001—2020 年中国与 35 个主要国家和地区的水产品贸易生态足迹和生态净值进行现状评价, 通过 ArcGIS 揭示生态净值的时空演变特征, 并运用 ARIMA 模型预测其未来变化趋势。研究表明: (1) 中国水产品进口与出口生态足迹值较大, 不同种类水产品贸易生态足迹值差距较大。(2) 中国水产品贸易生态净值虽然近期呈现显著上升趋势, 但整体生态净值态势不稳定, 而且不同种类水产品贸易生态净值差别较大。(3) 中国水产品贸易生态净值在时间维度上整体变化程度不高, 但在空间维度上存在明显的异质性问题, 并且集中程度变化较为明显。(4) 中国水产品出口贸易生态足迹和进口贸易生态足迹主要国家分布基本保持稳定, 但是少数主要国家变化明显, 水产品出口贸易和进口贸易集中度均较高。(5) 预测 2021—2025 年中国水产品出口和进口生态足迹处于明显不平衡状态, 2025 年中国水产品贸易生态净值空间分布依然存在明显的异质性问题。因此, 本研究从优化水产品贸易结构、畅通产业双循环路径、提升海洋科技创新能力、深化多边贸易合作体制等不同维度提出优化中国水产品贸易生态足迹的相关对策建议, 为中国水产品贸易可持续发展提供现实依据。

**关键词:** 生态足迹; 水产品贸易; ARIMA 模型; 时空演变; 动态预测

## Spatial-temporal evolution and dynamic prediction of the ecological footprint of aquatic product trade in China

FU Xiumei<sup>1</sup>, QI Qiaoqiao<sup>1</sup>, LIN Chunyu<sup>2,3</sup>, DONG Song<sup>4</sup>, LI Xiaonan<sup>1</sup>, WANG Ping<sup>5</sup>, WU Ziwei<sup>1</sup>, LIU Ying<sup>1,\*</sup>

1 School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

2 Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China

3 Zhoushan Ocean Research Center, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China

4 Qingdao Military-Civilian Integration Development Group, Qingdao 266500, China

5 Business School, Qingdao University, Qingdao 266061, China

**Abstract:** The ecological and environmental resources can be reconfigured between countries and regions to a certain extent by ecological inputs and outputs of international trade. While China vigorously develops aquatic products trade, it also faces problems such as the loss of ecological resources. Based on the ecological footprint model, this paper measured the ecological footprint and ecological net value of China's aquatic product trade with 35 major countries and regions from 2001 to 2020. The spatial and temporal evolution characteristics of the ecological net value were revealed through ArcGIS, and the

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (42076221)

**收稿日期:** 2024-01-08; **网络出版日期:** 2024-07-16

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ly@ouc.edu.cn

future trend of the changes was predicted by using the ARIMA model. The results showed that: (1) The ecological footprint values of China's aquatic products imports and exports were large, with the significant gap among the ecological footprint values in different types of aquatic product trade. (2) The overall net ecological value trend was unstable although the net ecological net value of China's aquatic product trade had shown a significant upward trend recently. At the meantime, there were large differences in the ecological net value of different types of aquatic product trade. (3) In the temporal dimension, the ecological net value of China's aquatic product trade did not have a high degree of overall change. However, there were obvious problems of heterogeneity, and the degree of concentration changed more obviously in the spatial dimension. (4) The distribution of major countries in the ecological footprint of China's aquatic products export trade and the ecological footprint of China's aquatic products import trade had basically remained stable, but there had been obvious changes in a few major countries. And the concentration of both aquatic products export trade and import trade was relatively high. (5) It was predicted that the ecological footprint of China's aquatic products exports and imports would be in a state of obvious disequilibrium from 2021 to 2025, and the spatial distribution of the ecological net value of China's aquatic product trade in 2025 would still encounter with obvious heterogeneity problems. Therefore, we put forward the relevant countermeasures to optimize the ecological footprint of China's aquatic product trade from different dimensions, such as optimizing the trade structure of aquatic products, smoothing the dual circulation path of industry, enhancing the innovation capacity of marine science and technology, and deepening the cooperation system of multilateral trade. It is hoped to provide a realistic basis for the sustainable development of China's aquatic product trade.

**Key Words:** ecological footprint; aquatic product trade; ARIMA model; spatial-temporal evolution; dynamic prediction

国际贸易是拉动国民经济增长的主要动力之一,在全球经济发展中也扮演着重要角色。中国作为世界最大的水产品贸易国之一,在世界水产品贸易中占据重要地位<sup>[1]</sup>,然而中国仍保持着以耗费生态资源的低附加值初级产品为主的水产品出口结构,在保持经济收益的同时将存在长期生态资源过度输出问题<sup>[2]</sup>。随着中国渔业经济发展和水产品进出口贸易规模的扩大,经济发展与生态可持续发展之间的冲突也逐渐显现<sup>[3]</sup>,生态系统可持续发展问题日益得到重视。因此,开展中国水产品贸易与生态环境的相关研究对实现其可持续发展具有重要的现实意义。

随着经济发展与环境保护之间矛盾的不断突显,学者对生态可持续发展做了相关研究,生态足迹测算逐渐成为表征生态环境可持续发展的重要指标。生态足迹是指能够持续提供资源或消纳废物的、具有生物生产能力的地域空间<sup>[4-5]</sup>,是评价人类活动下生态可持续性的有效工具。通过对生态足迹演进综合分析<sup>[6]</sup>,发现学者将生态足迹概念延伸至水足迹<sup>[7]</sup>、碳足迹<sup>[8-9]</sup>、旅游足迹<sup>[10]</sup>、能源生态足迹<sup>[11-12]</sup>等领域,从全球层面<sup>[13]</sup>、地区层面<sup>[14]</sup>、国家层面<sup>[15]</sup>、省级层面<sup>[16]</sup>、市级层面<sup>[17]</sup>等对生态足迹进行测算,并分析生态足迹时空演变<sup>[18-19]</sup>,对资源的可持续发展进行预测分析。在贸易与生态足迹的关系方面,研究发现中国进出口贸易由生态净输出国转变为生态净输入国,且净进口足迹呈现增加趋势<sup>[20-21]</sup>。在全球范围内,生态足迹流动最大的区域是拉丁美洲到北美以及北美到亚太地区,中高收入国家为主要生态足迹贸易国<sup>[22]</sup>,贸易开放会增加生态足迹<sup>[23-24]</sup>。贸易与生态足迹两者之间互相影响,生态承载力与生态足迹的比值越大,越能够促进对外出口<sup>[25]</sup>。

当前国际环境复杂多变,受贸易摩擦和新冠疫情等影响,中国与不同贸易国家和地区的水产品贸易需求和出口条件都有所变化<sup>[26]</sup>。水产品贸易会无形之中造成碳排放的被动转移,中国水产品贸易通过强度效应和结构效应能够有效抑制隐含碳的排放,但是规模效应会加强水产品贸易中的隐含碳排放<sup>[27]</sup>。在贸易的生态可持续发展方面,大多将水产品作为农业可持续发展的一部分进行研究<sup>[28-29]</sup>,对水产品贸易的生态问题关注不足。学者对水产品贸易的研究主要集中在贸易潜力<sup>[30]</sup>、影响因素<sup>[31]</sup>和碳排放<sup>[32]</sup>等方面,对水产品贸易与生态可持续发展的相关研究仍相对欠缺,特别是水产品贸易生态足迹相关研究较为鲜见。因此,本文基于生态足迹模型测算水产品出口生态足迹和进口生态足迹,分析中国水产品贸易的生态足迹发展与时空演变状

况,并运用 ARIMA 最优预测模型对未来趋势进行动态预测。水产品贸易中的生态净输入在一定程度上可以缓解中国的生态压力,但是仅仅依靠贸易平衡是不够的。因而,本文从优化水产品贸易结构、畅通产业双循环路径、提升海洋科技创新能力、深化多边贸易合作体制等不同维度提出优化中国水产品贸易生态足迹发展的对策建议,以期为促进中国水产品贸易与生态环境可持续协调发展提供重要理论与现实支撑。

## 1 研究区域、数据来源与研究方法

### 1.1 研究区域与数据来源

通过综合近三年中国水产品进出口总额排名情况,本研究选取前 35 个贸易国家和地区作为研究对象,包括日本、美国、俄罗斯、韩国、泰国、厄瓜多尔、中国香港、越南、加拿大、马来西亚、印度、印度尼西亚、澳大利亚、菲律宾、墨西哥、挪威、新西兰、德国、西班牙、英国、智利、阿根廷、法国、格陵兰岛、荷兰、新加坡、秘鲁、葡萄牙、科特迪瓦、意大利、巴基斯坦、巴西、法罗群岛、冰岛、波兰。

生态足迹账户数据均来源于联合国商品贸易数据库(UN Comtrade)和联合国粮农组织(FAO)数据库。根据联合国商品贸易数据库 SITC Rev.3 编码中对水产品的分类,本研究结合 UN Comtrade 数据库与 FAO 数据库的差异性及数据可得性,选取 SITC Rev.3 编码下 034 类(鲜活、冷藏及冷冻鱼类)、035 类(干鱼、腌熏鱼及鱼粉鱼丸类)和 036 类(鲜活、冷藏、冷冻、腌制及烹制甲壳软体类)构建水产品贸易生态足迹账户,测算 2001—2020 年中国与 35 个主要国家和地区的水产品贸易出口生态足迹值和进口生态足迹值,用以评价中国水产品贸易的生态足迹发展状况。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 水产品贸易生态足迹计算方法

生态足迹模型本质即为计算资源产品所需要的用全球单位统一表示的生产性土地面积,具体计算公式如下所示:

$$EF = \sum_{i=1}^n ef_i = \sum_{i=1}^n r_i \times \frac{C_i}{Y_i} \quad (1)$$

式中, $EF$  为生态足迹总值, $ef_i$  为不同资源消费所产生的生态足迹, $C_i$  为第  $i$  种生产性土地下的资源消费总量, $Y_i$  为第  $i$  种生产性土地的生产能力, $r_i$  为第  $i$  种生产性土地的均衡因子。

贸易生态足迹模型与一般生态足迹模型相比,区别在于资源消费总量以进口量和出口量表示。参照既有研究的贸易生态足迹模型构建方式,中国水产品贸易生态足迹模型设立如下所示:

$$EF_{Ii} = \sum_{j=1}^{35} ef_{Iij} = \sum_{j=1}^{35} r \times \frac{I_{ij}}{Q_{in}} \quad (2)$$

$$EF_{Ei} = \sum_{j=1}^{35} ef_{Eij} = \sum_{j=1}^{35} r \times \frac{E_{ij}}{Q_{in}} \quad (3)$$

$$\Delta EF_i = EF_{Ii} - EF_{Ei} = \sum_{j=1}^{35} (ef_{Iij} - ef_{Eij}) \quad (4)$$

式中, $EF_{Ii}$  和  $EF_{Ei}$  分别为中国第  $i$  年的水产品进口生态足迹值和出口生态足迹值; $ef_{Iij}$  和  $ef_{Eij}$  分别为中国第  $i$  年对第  $j$  个国家或地区的水产品进口生态足迹值和出口生态足迹值; $r$  为均衡因子; $I_{ij}$  和  $E_{ij}$  分别代表中国第  $i$  年对第  $j$  个国家或地区的水产品进口量和出口量; $Q_{in}$  为第  $i$  年第  $n$  类水产品的全球平均生产力; $\Delta EF_i$  为中国第  $i$  年的水产品贸易生态足迹净值。生态足迹单位为全球公顷  $G \text{ hm}^2$  (global hectare),  $1G \text{ hm}^2$  表示具有全球平均产量生产力的  $1\text{hm}^2$  土地,水产品涉及生物生产性土地类型为水域<sup>[33]</sup>,因此本研究中  $1G \text{ hm}^2$  表示具有水产品全球平均产量生产力的  $1\text{hm}^2$  水域。

#### 1.2.2 ARIMA 模型

ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average)模型即为整合移动平均自回归模型,主要用于对非平稳时间序列进行短期预测,并已在生态足迹预测中得到广泛应用。模型通常以  $ARIMA(p, d, q)$  形式表示,其中,

AR 表示自回归, MA 表示移动平均;  $p$  为自回归项数,  $q$  为滑动平均项数;  $d$  则是形成平稳序列所需要进行差分的阶数。其表达式如式(5)所示:

$$Y_t = c + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \dots + \alpha_p Y_{t-p} + \varepsilon_t + \beta_1 \varepsilon_{t-1} + \beta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \beta_q \varepsilon_{t-q} \quad (5)$$

式中,  $c$  是常数项;  $\alpha_i$  和  $\beta_i$  均为回归系数;  $\varepsilon_t$  表示白噪声序列。

## 2 中国水产品贸易生态足迹时空演变

### 2.1 中国水产品贸易生态足迹时间演变分析

#### 2.1.1 中国水产品进口与出口生态足迹值时间演变分析

水产品进口生态足迹表示中国进口水产品所隐含的来自国外的生态输入, 出口生态足迹则表示中国出口水产品所隐含的流向国外的生态输出。基于中国水产品贸易生态足迹账户与公式(2)和公式(3), 中国水产品贸易生态足迹在时间维度上的变化趋势, 如图1所示。结果表明, 中国水产品出口和进口生态足迹绝对值较大, 且主要以034类和036类为主, 035类水产品进出口生态足迹占比较小。中国水产品出口生态足迹整体虽然前期呈现波动上升趋势, 但是后期呈现明显下降态势, 进口生态足迹整体呈现上升趋势, 而且虽然进口生态足迹增长速度高于出口生态足迹, 但是生态输出仍处于高水平状态。

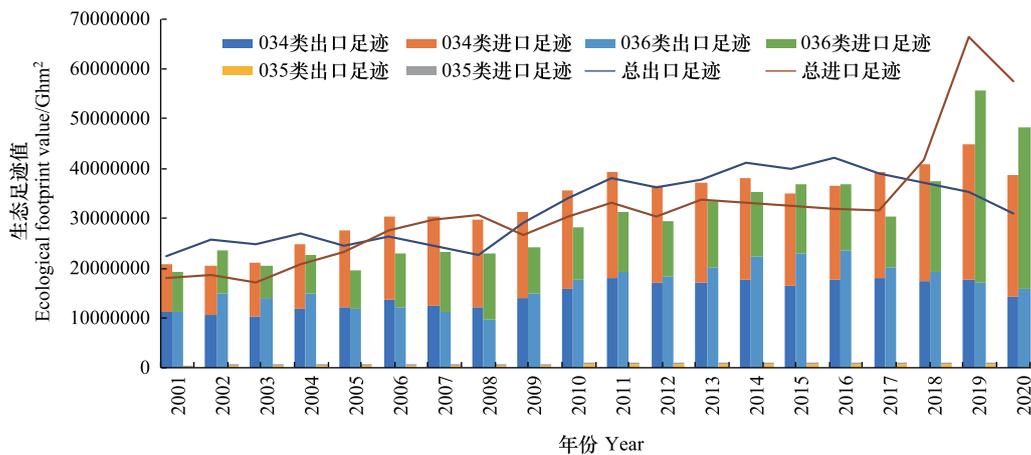


图1 2001—2020年中国水产品贸易生态足迹值变化图

Fig.1 Diagram of ecological footprint of China's aquatic product trade from 2001 to 2020

在总进口与出口生态足迹方面, 中国水产品出口生态足迹整体虽然前期呈现波动上升趋势, 但是后期呈现明显下降态势; 与出口生态足迹不同的是, 进口生态足迹表现为2003—2008年间的平稳增长、2008—2017年的平稳波动和2017—2019年的快速增长, 且2020年出现了较为明显的下降趋势。从2001年至2020年, 中国水产品总进口生态足迹增长超过220%, 总出口生态足迹仅增长37.8%, 水产品进口生态足迹增长速度高于出口生态足迹。水产品出口足迹后期呈下降趋势, 主要是中国水产品贸易出口竞争力减小, 国内水产品生产由出口导向型转变为内需拉动型。中国进口生态足迹大幅增长主要出现在2018年及以后, 究其原因, 可能在于为加快产业产品的升级提质, 2018年中国将养殖类、捕捞类水产品进口关税税率下调8.3个百分点降至6.9%, 促进中国水产品进口进一步增加, 总进口水产品生态足迹也随之增加。

不同种类水产品进口与出口生态足迹变化趋势存在较大区别。其中, 中国035类水产品出口足迹和进口足迹相比其他种类的水产品均长期处于较低水平, 且没有明显波动, 此处由于表中足迹值刻度较大, 因此035类水产品变动曲线几乎与横轴重合; 034类水产品出口生态足迹和进口生态足迹均呈现平稳小幅上升态势; 值得注意的是, 036类水产品出口生态足迹和进口生态足迹与总出口生态足迹和总进口生态足迹变化趋势几乎一致, 也表现为出口生态足迹整体的波动上升趋势, 以及进口生态足迹在2003—2008年平稳增长和

2017—2019 年快速增长下的整体增长态势。由此可知,中国水产品总出口生态足迹和总进口生态足迹近二十年的变化主要是由 036 类水产品出口和进口生态足迹的变化导致的。

### 2.1.2 中国水产品生态净值时间演变分析

基于生态足迹模型中的(4)式计算中国水产品贸易的生态净值(图 2),以此从生态层面表示中国水产品贸易的生态足迹发展情况。若生态净值为正值,表明中国水产品贸易为生态净输入状态,中国通过水产品贸易实现生态资本的净流入,能够有效缓解国内生态压力,从生态视角而言中国水产品贸易是可持续的;否则,为生态净输出状态,间接导致国内生态承载力降低,生态负担加重,不利于中国水产品贸易的可持续发展<sup>[34]</sup>。从整体来看,中国水产品贸易总生态净值绝大多数年份都为负值,即出口生态足迹大于进口生态足迹,中国水产品贸易中存在生态的净输出。虽然近三年中国水产品贸易的可持续发展情况明显改善,但是处于生态净输出状态的年份居多。

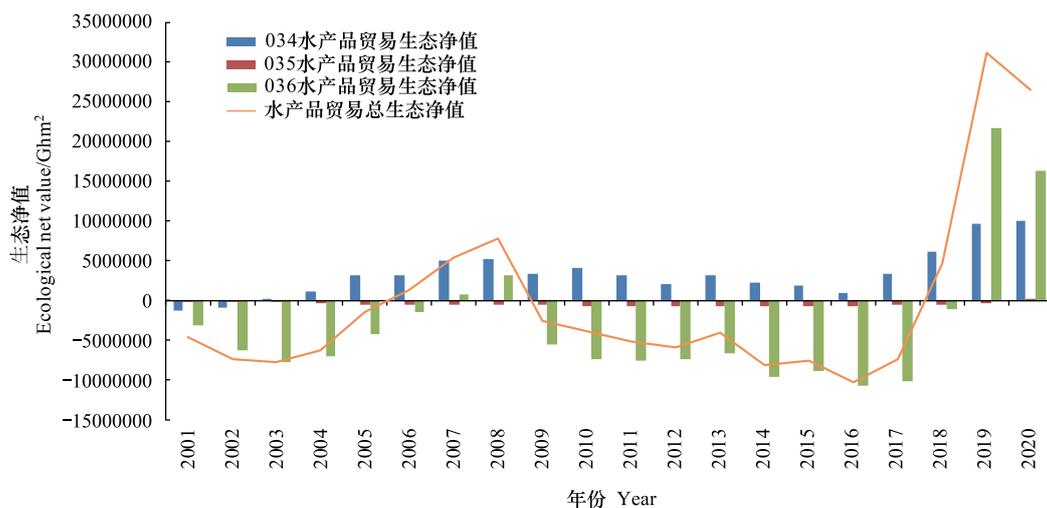


图 2 2001—2020 年中国水产品贸易生态净值变化图

Fig.2 Diagram of ecological net value of China's aquatic product trade from 2001 to 2020

中国水产品贸易总生态净值变化可以大致分为三个阶段,第一阶段为 2001—2008 年,生态净值处于平稳上升状态,此阶段中国水产品总出口生态足迹处于较为平稳的状态,进口足迹值不断增加,原因在于中国加入世界贸易组织后,随着中国水产品的进口壁垒不断削弱,自国外市场进口的水产品数量不断增加,隐含其中的生态输入也不断增加<sup>[35]</sup>。第二阶段为 2008—2016 年,生态净值开始快速缩减并再次变为负值。此阶段中国水产品总进口生态足迹处于较为平稳的状态,出口足迹值不断增加。在此期间,中国水产品贸易虽然受金融危机冲击导致增长放缓,但是中国出口水产品整体质量溢价不断提高,其出口竞争力有所增强,因此随着出口增加中国水产品贸易生态输出也不断增加。第三阶段为 2016—2020 年,此阶段中国水产品贸易生态净值快速增长,在 2019 年达到峰值。虽然 2020 年由于新冠肺炎疫情原因较 2019 年有所下降,但仍远高于 2019 年之前的生态净值。

分种类来看,三类水产品贸易生态净值差别较大,可持续发展水平不稳定。034 类水产品生态净值仅在 2001 年和 2002 年为负,其余年份均为正值,表明中国 034 类水产品贸易几乎长期存在生态净输入,其生态可持续发展状况较好,能够更好地为产业深加工提供生产资源;而 035 类水产品生态净值仅在 2020 年为正,其余年份均为负值,即中国 035 类水产品贸易几乎长期存在生态净输出;036 类水产品生态净值则仅在 2007 年、2008 年、2019 年和 2020 年为正值,其余年份均为负值,说明中国 036 类水产品贸易也几乎长期存在生态净输出,从生态视角而言均不利于中国水产品贸易的可持续发展。

## 2.2 中国水产品贸易生态净值空间演变分析

利用 ArcGIS10.8 软件,将 2001 年、2008 年、2014 年和 2020 年四个节点年份的水产品贸易生态净值与 35 个水产品贸易国家和地区的矢量图层进行数据关联,并将中国水产品贸易的生态净值划分为中度生态净输出(-7100000, -3000000)、轻度生态净输出(-3000000, 0)、轻度生态净输入(0, 4000000)、中度生态净输入(4000000, 8000000)、高度生态净输入(8000000, 13000000)5 种类型,形成中国与 35 个国家和地区水产品贸易生态净值空间演变图(图 3)。

由图 3 演变结果可知,中国与 35 个主要国家和地区的水产品贸易生态净值在时间维度上整体变化程度不高,但在空间维度上存在明显的异质性问题,并且集中程度变化较为明显。在时间维度上,个别国家和地区的生态输入或输出状态有所改变,绝大多数贸易国家和地区保持相对稳定。其中,日本在 2020 年变为轻度生态净输出的黄色区域,表明中国与日本水产品贸易中的生态净输出有所减少;俄罗斯在 2020 年变为高度生态净输入的紫色区域,印度尼西亚由轻度生态净输入的绿色区域变为中度生态净输入的蓝色区域,表明中国同俄罗斯和印度尼西亚的水产品贸易中生态净输入程度进一步加深。荷兰、泰国和澳大利亚由生态净输入变为生态净输出,中国与马来西亚的水产品贸易生态净值处于波动状态。值得注意的是,厄瓜多尔从 2008 年轻度生态净输出的黄色区域上升为 2014 年轻度生态净输入的绿色区域,2020 年跃升至高度生态净输入的紫色区域,表明中国与其水产品贸易中的生态输入呈现爆发式增长。结合中国水产品贸易现状,厄瓜多尔作为当前中国水产品最大进口来源国家之一,近年来出口至中国的以白虾为代表的 036 类水产品数量大幅增长,这也是近年中国水产品贸易生态净值在 036 类水产品主导下呈现向好的原因之一。

在空间维度上,中国水产品贸易生态净输出集中程度有所下降,生态净输入集中程度有所上升;中国与不同贸易国家和地区之间的生态足迹存在较大差别。在处于生态净输出状态的国家和地区中,处于中度水平的国家和地区逐渐向轻度水平靠拢,即处于中度水平的国家和地区对整体生态净输出的贡献率有所降低,说明中国水产品贸易生态净输出集中程度有所下降。而在处于生态净输入状态的贸易国家和地区中,处于轻度水平的国家和地区逐渐向中高度靠拢,即处于中高度水平的国家和地区对于整体生态净输入的贡献率有所增加,说明中国水产品贸易生态净输入集中程度有所上升,生态输入安全性降低。中国与不同国家和地区之间的水产品贸易生态净值分布存在较大差别。日本和韩国几乎长期处于中度生态净输出的红色区域,中国与其水产品贸易存在较为严重的生态净输出。俄罗斯在四个节点年份中有三年均位于中度生态净输入的蓝色区域,且 2020 年位于高度生态净输入的紫色区域,表明中国与俄罗斯的水产品贸易长期存在中度甚至高度生态净输入。菲律宾、德国、西班牙、英国、法国、意大利、科特迪瓦、葡萄牙、新加坡和波兰长期位于轻度生态净输出的黄色区域,表明中国与这十个国家的水产品贸易长期存在轻度生态净输出。美国、加拿大、越南、印度、新西兰、挪威、阿根廷、智利、格陵兰岛、秘鲁、冰岛和巴基斯坦则长期位于轻度生态净输入的绿色区域,即中国与这十二个国家的水产品贸易长期存在轻度生态净输入。

## 2.3 中国水产品贸易生态足迹主要国家变化分析

中国水产品出口贸易生态足迹主要国家分布基本保持稳定,但是少数主要国家有所变化。2001—2020 年中国水产品进出口生态足迹值分布如图 4 所示,图 4 中线条粗细表示一国生态足迹所占份额大小。根据各国水产品出口贸易生态足迹所占份额大小,本文选取所占份额排名前 5 位的国家为出口贸易主要国家。由图 4 可以看出,2001 年中国水产品贸易出口生态足迹值所占份额较大的是日本、韩国、美国、中国香港和德国等国家和地区,为中国水产品贸易的主要国家和地区。2008 年韩国、日本、美国和德国依旧是中国水产品主要出口国家。同时图 4 中显示西班牙在中国水产品贸易生态足迹中所占份额明显增大,其对中国水产品的需求进一步增加,说明这也成为中国水产品出口贸易的主要国家。2014 年韩国、日本、美国和中国香港依旧保持原有地位,而且对于中国水产品需求逐渐增长。泰国在中国水产品出口生态足迹值中所占份额明显增大,表明中国对其水产品出口增长明显。2020 年韩国、日本、泰国、美国和中国香港依旧在中国水产品出口贸易中保持原有地位。基于中国水产品出口贸易生态足迹变化分析可知,中国水产品出口贸易主要国家分布处于相对稳定状态,波动变化较小,中国水产品出口贸易集中度高。

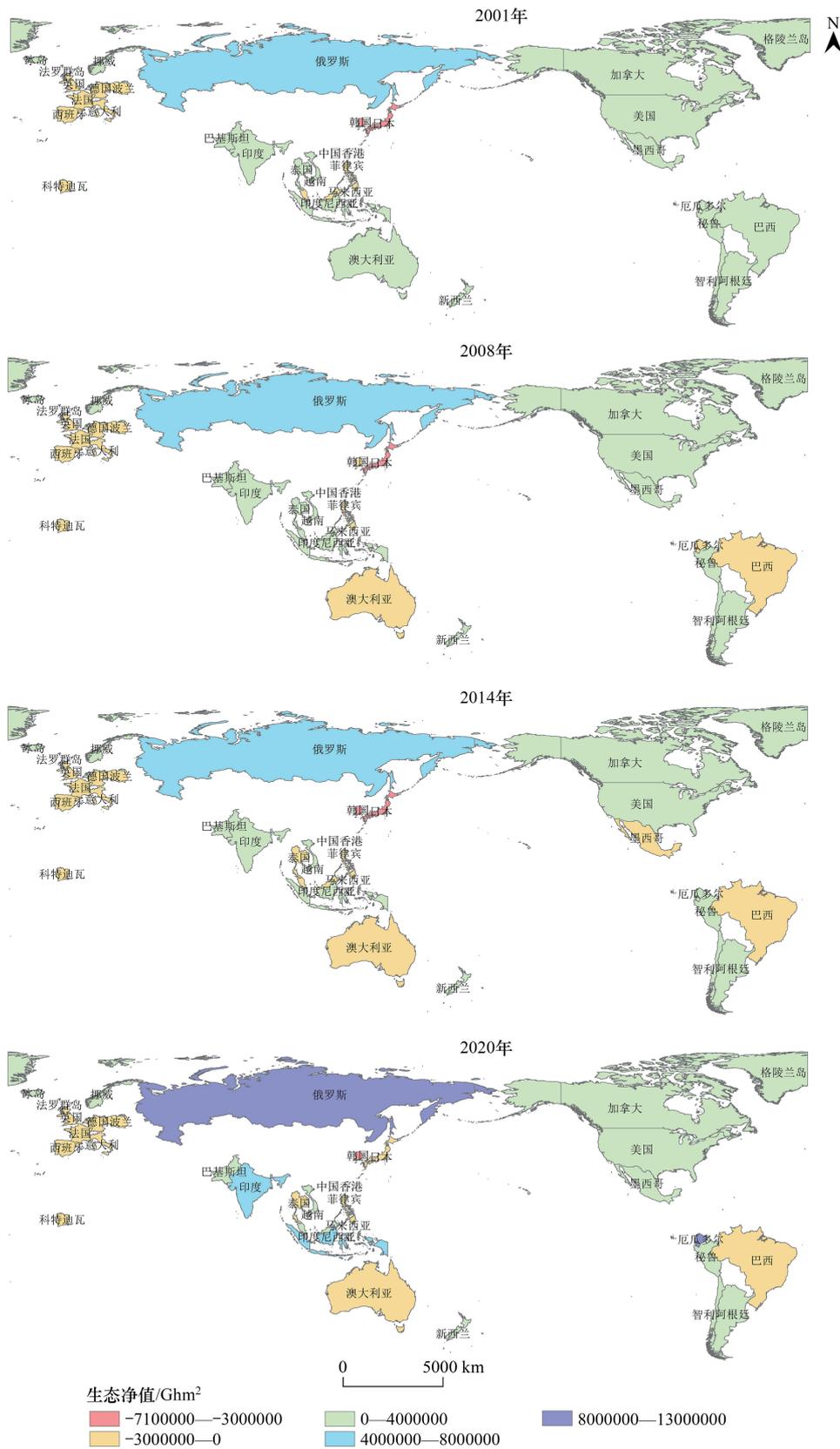
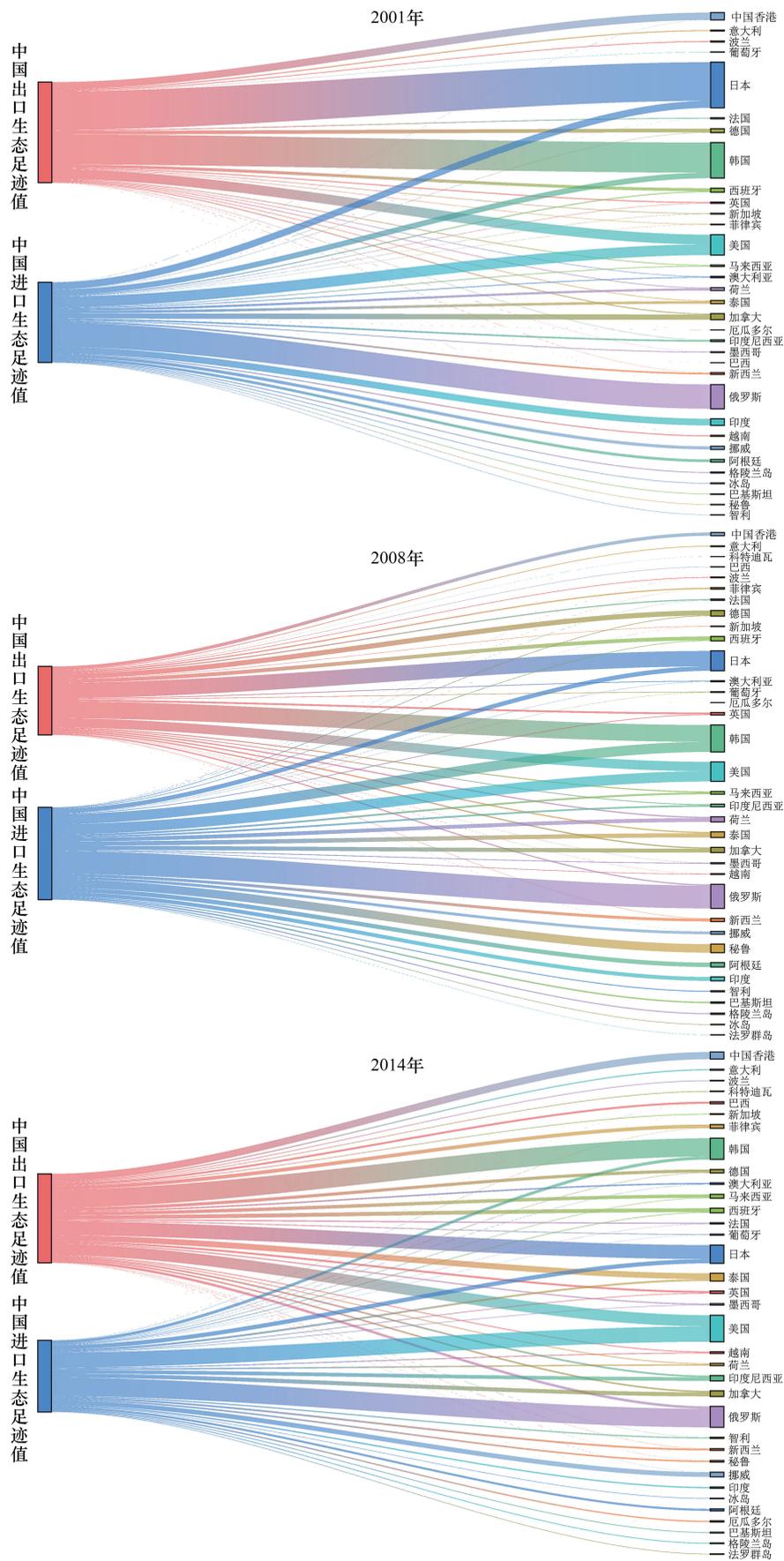


图3 2001、2008、2014、2020年生态净值空间演变

Fig.3 Spatial evolution of the ecological net value in 2001, 2008, 2014 and 2020



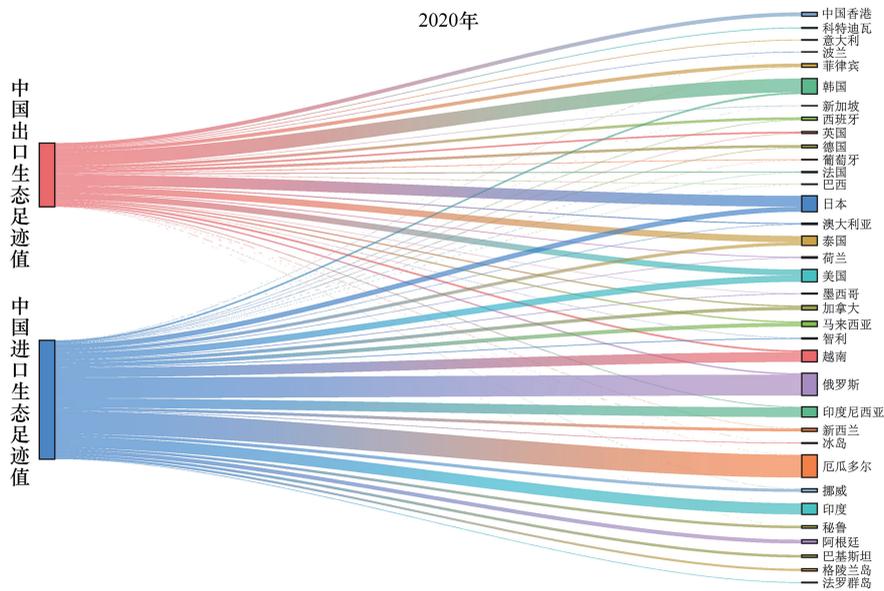


图 4 2001、2008 年、2014 年、2020 年水产品进出口生态足迹分布图

Fig.4 Distribution map of ecological footprint of aquatic products imports and exports in 2001, 2008, 2014, 2020

中国水产品进口贸易生态足迹主要国家分布基本保持稳定,但是少数主要国家进口生态足迹发生明显变化。根据各国水产品进口贸易生态足迹所占份额大小,本文选取所占份额排名前 6 位的国家为进口贸易主要国家。由图 4 可以看出,2001 年中国水产品贸易进口生态足迹值所占份额较大的主要是俄罗斯、美国、日本、印度、韩国和加拿大等国家。2008 年俄罗斯、美国、韩国和日本依旧是中国水产品进口的主要来源国。秘鲁和阿根廷在中国水产品进口生态足迹值中所占份额明显增大,成为中国水产品进口贸易主要国家。2014 年俄罗斯、美国、日本、加拿大等国家保持中国水产品进口贸易的主要国家地位。同时挪威和印度尼西亚在中国水产品进口生态足迹中所占份额增大,一跃成为中国主要水产品进口国之一。2020 年俄罗斯、印度和美国等国家依旧在中国水产品进口贸易中占据主要地位。其中厄瓜多尔、印度尼西亚、越南等国家所占份额增加明显,份额超越美国等国家,一跃也成为中国水产品进口贸易主要国家。这是因为 2018 年中国下调养殖类、捕捞类水产品进口关税税率,使得中国从厄瓜多尔、印度尼西亚、越南和印度等国家进口的水产品增多。基于中国水产品进口贸易生态足迹变化分析可知,中国水产品进口贸易主要国家虽然存在一定的波动变化,但是相对稳定,中国水产品进口贸易集中度较高。

### 3 中国水产品贸易生态足迹动态预测

#### 3.1 中国水产品出口生态足迹与进口生态足迹 ARIMA 模型预测

本文选择 ARIMA 模型对中国水产品出口与进口生态足迹进行预测。为确保预测有效性,对 2001—2020 年中国水产品出口生态足迹与进口生态足迹数据进行单位根检验和差分处理。

##### 3.1.1 中国水产品出口生态足迹与进口生态足迹 ADF 检验

为对中国水产品进出口足迹进行有效预测,通过单位根检验及差分处理得到平稳序列。原序列及差分序列 ADF 检验结果如表 1 所示。根据最优化原则,结果显示二阶差分处理后中国水产品进口与出口生态足迹序列在 1% 的显著性水平下拒绝原假设,是平稳序列。因此,处理后的序列支持 ARIMA 模型的进一步构建。

##### 3.1.2 中国水产品出口生态足迹与进口生态足迹 ARIMA 模型建立

为确定 ARIMA 模型中  $p$  与  $q$  的值,本研究通过 Eviews10 软件对 2001—2020 年中国水产品出口生态足迹与进口生态足迹二阶数据数据进行自相关与偏自相关分析,通过分析其拖尾特征,确定  $p$  和  $q$  的取值,进而初步构建 ARIMA 模型。中国水产品进出口生态足迹数据均自相关系数呈现拖尾特征,满足构建 ARIMA( $p, d, q$ ) 模

型的条件,  $p$  和  $q$  暂时取值为 2, 中国水产品进出口生态足迹二阶差分序列均是单整的平稳数据,  $d$  取 2。因此可以初步建立 ARIMA(1,2,1)、ARIMA(1,2,2)、ARIMA(2,2,1)、ARIMA(2,2,2) 模型, 然后以此为基础进一步确定最优模型。本研究进一步对各个模型参数进行估计, 并结合贝叶斯信息准则 (Bayesian Information Criterion, BIC) 确定最优预测模型。BIC 准则计算方法如下所示:

$$BIC = k \ln n - 2 \ln L \tag{5}$$

式中,  $k$  为模型中未知参数的个数,  $n$  为样本数,  $L$  为似然函数。BIC 值越小, 说明此模型的效果越理想。通过综合对比发现, 出口生态足迹仅有 ARIMA(1,2,2) 模型各参数系数显著且其 BIC 值最低; 进口生态足迹 ARIMA(1,2,2) 模型各参数系数显著且其 BIC 值最低。因此确定 ARIMA(1,2,2) 为出口生态足迹最优模型, ARIMA(1,2,2) 为进口生态足迹最优模型, 参数估计结果及其拟合情况如表 2 与图 5、图 6 所示:

表 1 2001—2020 年中国水产品贸易生态足迹数据 ADF 检验

Table 1 ADF test of ecological footprint of China's aquatic product trade from 2001 to 2020

序列 Sequence	出口生态足迹原序列 Original sequence of export ecological footprint		出口生态足迹二阶差分序列 Second-order differential sequence of export ecological footprint		进口生态足迹原序列 Original sequence of import ecological footprint		进口生态足迹二阶差分序列 Second-order differential sequence of import ecological footprint	
	$t$ 统计量 $t$ -statistic	$P$	$t$ 统计量 $t$ -statistic	$P$	$t$ 统计量 $t$ -statistic	$P$	$t$ 统计量 $t$ -statistic	$P$
	ADF 值 ADF value	-1.50	0.51	-6.86	0.00***	-0.50	0.87	-4.73
临界值 Critical value	1% 置信水平 5% 置信水平 10% 置信水平	-3.83 -3.03 -2.66	-3.89 -3.05 -2.67		-3.83 -3.03 -2.66		-3.92 -3.07 -2.67	

ADF: 单位根 Augmented dickey-fuller; \* \* \*、\* \* 和 \* 分别表示在 99%、95% 和 90% 置信水平下拒绝原假设

表 2 出口生态足迹 ARIMA(1,2,2)、进口生态足迹 ARIMA(1,2,2) 模型参数估计结果

Table 2 Parameter estimation results of export ecological footprint ARIMA(1,2,2) and import ecological footprint ARIMA(1,2,2)

变量 Variable	出口生态足迹 ARIMA(1,2,2) Export ecological footprint ARIMA(1,2,2)			进口生态足迹 ARIMA(1,2,2) Import ecological footprint ARIMA(1,2,2)		
	系数值 Coefficient	标准误 Standard error	$t$ 统计量 $t$ -statistic	系数值 Coefficient	标准误 Standard error	$t$ 统计量 $t$ -statistic
	$C$	-464385.4***	72388.19	-6.42	1304372***	124345.7
$AR(1)$	-0.94***	0.03	-32.73	-0.93***	0.01	-83.04
$MA(2)$	-4.60***	1.36	-3.39	-4.78***	1.33	-3.59

$C$ : 常数项 Constant term;  $AR$ : 自回归 Autoregressive;  $MA$ : 移动平均 Moving average; \* \* \*、\* \* 和 \* 分别表示在 99%、95% 和 90% 置信水平下拒绝原假设

结果显示, 各参数系数均在 99% 置信水平下通过显著性检验, 出口生态足迹 ARIMA(1,2,2) 模型拟合优度  $R^2 = 0.96$ , 进口生态足迹 ARIMA(1,2,2) 模型拟合优度  $R^2 = 0.97$ , 均处于较高水平; 模型拟合图也表明二阶差分序列的预测值与实际值几乎重合, 拟合效果较好。

由此, 出口生态足迹 ARIMA(1,2,2) 模型的具体表现形式为:

$$DEF_{Et} = -464385.4 - 0.94 \times DEF_{Et-1} - 4.60 \times \varepsilon_{t-2} \tag{6}$$

进口生态足迹 ARIMA(1,2,2) 模型的具体表现形式为:

$$DEF_{It} = 1304372 - 0.93 \times DEF_{It-1} - 4.78 \times \varepsilon_{t-2} \tag{7}$$

### 3.1.3 中国水产品出口生态足迹与进口生态足迹 ARIMA 模型检验与预测

为保证模型的最优解, 进一步对出口生态足迹 ARIMA(1,2,2) 模型和进口生态足迹 ARIMA(1,2,2) 模型的残差进行平稳性检验, 判断其是否符合白噪声特征。若经验证是白噪声序列, 则证明该模型具有适用性, 可以进行中国水产品贸易出口生态足迹与进口生态足迹的预测。结果显示, 残差  $Q$  统计量的  $P$  值均大于 0.1,

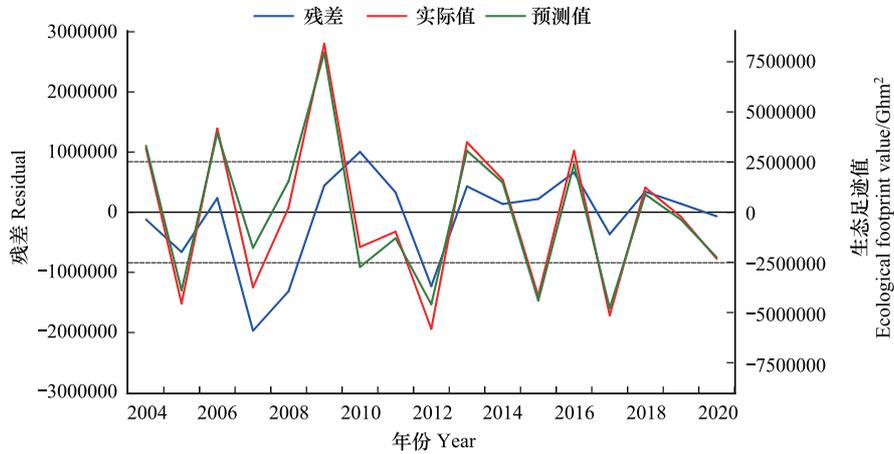


图 5 出口生态足迹 ARIMA(1,2,2) 模型拟合图

Fig.5 Fitting diagram of export ecological footprint in the model of ARIMA (1,2,2)

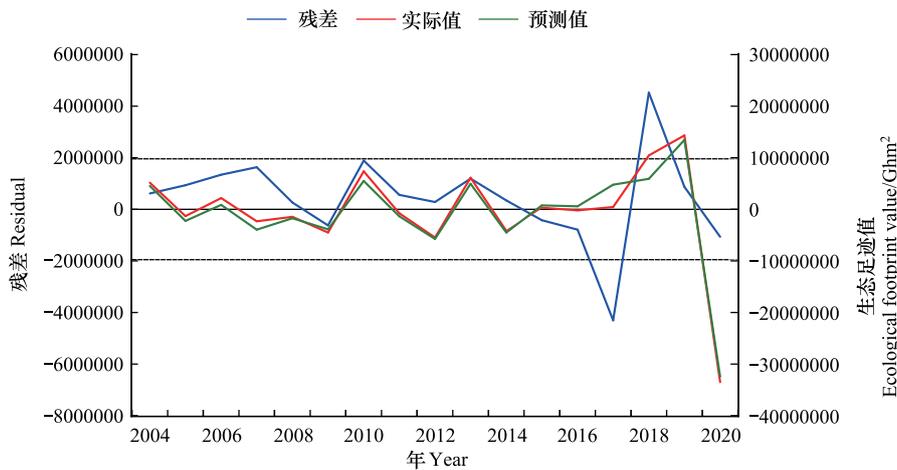


图 6 进口生态足迹 ARIMA(1,2,2) 模型拟合图

Fig.6 Fitting diagram of import ecological footprint in the model of ARIMA (1,2,2)

接受其为白噪声的原假设,出口生态足迹 ARIMA(1,2,2)与进口生态足迹 ARIMA(1,2,2)模型模型的建立是正确、可行的。

因此,基于出口生态足迹 ARIMA(1,2,2)与进口生态足迹 ARIMA(1,2,2)模型,通过 Eviews10 软件 Forecast 功能对 2021—2025 年中国水产品出口生态足迹与进口生态足迹数据进行预测(图 7)。由图 7 可知,2021—2025 年中国水产品出口生态足迹呈现明显下降趋势;进口生态足迹呈现逐年上升趋势;生态净值均为正值且呈现显著上升趋势。从生态层面而言,一方面是因为中国水产品出口结构不合理,多为耗费大量水资源为代价的低附加值初级产品<sup>[36]</sup>,高技术型水产品占比较低,整体竞争力逐渐减小。此外,中国国内生产成本的逐年增加使水产品出口失去价格优势,因而使得出口增长乏力;同时贸易摩擦和贸易战频发也使得中国水产品出口难度加大<sup>[37]</sup>。另一方面,随着中国经济的发展,国内消费者对于高端进口水产品的需求不断上升,水产品进口的不断增加推动了其中所蕴含的生态输入的增加<sup>[38]</sup>。中国国内消费需求的日益增加,使水产品生产由出口导向型转变为内需拉动型。因此,未来中国水产品进出口贸易生态足迹处于失衡状态,不利于水产品贸易的可持续发展。

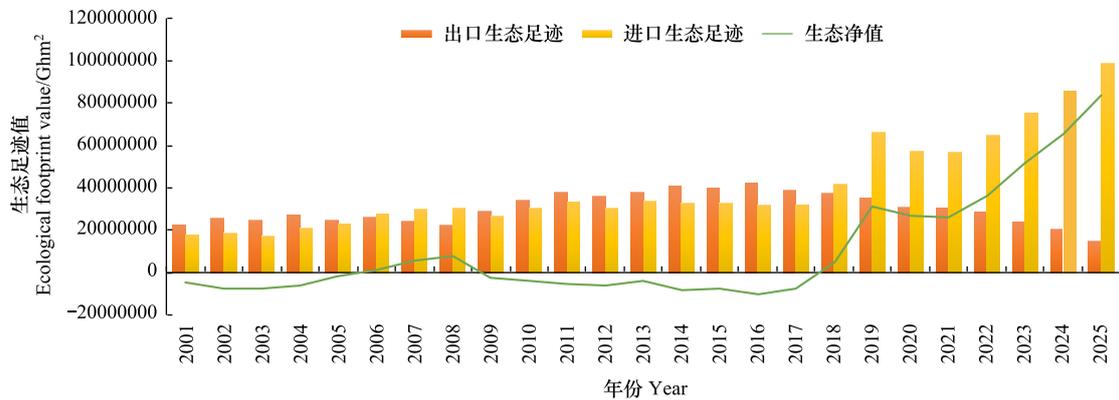


图7 预测 2001—2025 年中国水产品出口生态足迹、进口生态足迹和生态净值趋势图

Fig.7 Trend chart of export ecological footprint, import ecological footprint and ecological net value of aquatic products in China from 2001 to 2025

### 3.2 中国水产品贸易生态净值空间分布 ARIMA 模型预测

未来中国水产品贸易的生态净输入和净输出程度进一步集中。运用 Eviews10 软件 Forecast 功能对 2021—2025 年中国与 35 个国家和地区的水产品出口生态足迹与进口生态足迹数据进行预测,并通过 ArcGIS10.8 绘制出 2025 年中国与 35 个国家和地区的水产品贸易生态净值空间分布图(图 8)。由图 8 预测可知,2025 年大多数国家和地区生态输入和输出状态相对稳定,部分国家和地区生态输入或输出状态变化明显。其中,预测中国对澳大利亚和泰国水产品贸易在 2025 年由轻度生态净输出的黄色区域变为轻度生态净输入的绿色区域;预测 2025 年中国对越南的水产品贸易由轻度生态净输入逐渐向中高度生态净输入国家和地区靠拢;中国对印度尼西亚的水产品贸易由中度净输入状态转为高度净输入状态;预测日本和美国在 2025 年变为中度生态净输出的红色区域,表明中国对美国和日本水产品贸易的生态输出程度进一步加深。水产品贸易生态输出集中程度的提高会降低水产品贸易安全度,存在一定的贸易风险,并可能因贸易壁垒、贸易制裁等造成资源的浪费与损耗,导致生态价值的损失。

中国水产品贸易生态净值空间分布变化原因。美国、日本和东盟等是全球水产品贸易的主要国家,不仅是水产品贸易的生态输入地区,也是重要的生态输出来源。随着中美就贸易问题的不断协商和第一阶段贸易协议执行,中国对美国的水产品出口贸易有望进一步增加,表现为中国对美国的水产品贸易生态净输出进一

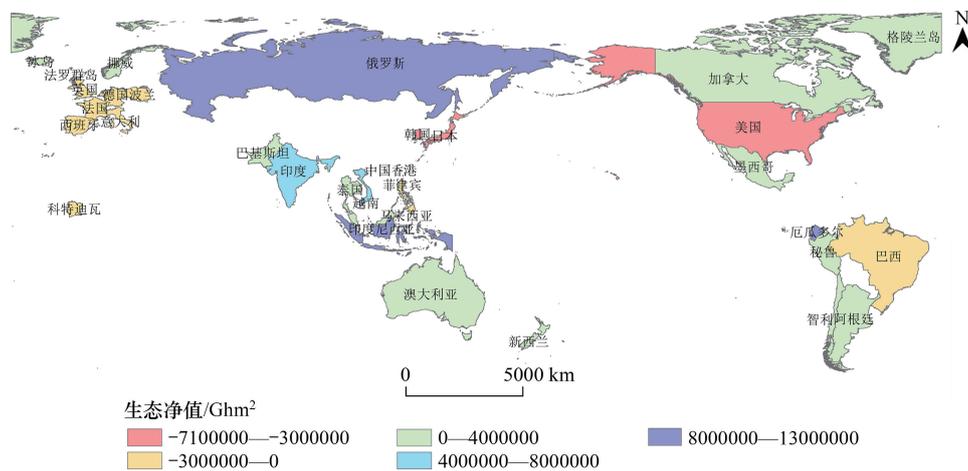


图 8 2025 年中国水产品贸易生态净值空间分布

Fig.8 Spatial distribution of ecological net value of China's aquatic products trade in 2025

步加深。“一带一路”倡议的深入推进,使得中国与东盟国家的贸易往来越来越密切。水产品贸易是中国“21世纪海上丝绸之路”建设的重要方面,随着中国对水产品需求的不断增加,从东盟国家进口的水产品不断增长,表现为中国与泰国、越南等东盟国家的水产品贸易生态输入程度不断加深。《区域全面经济伙伴关系协定》(简称 RCEP)的正式生效,不仅推进了区域贸易自由化,还进一步深化了中国与成员国的贸易合作。RCEP 加速了成员国间的水产品贸易往来,激发区域水产品合作向纵深发展,中国对于日本的水产品出口量不断增加,对于澳大利亚的进口量逐渐增加,从而表现为中国与日本的水产品贸易生态净输出、与澳大利亚的水产品贸易生态净输入程度将进一步加深。这在空间上表现为中国对主要国家水产品贸易生态输入和生态输出集中程度的提高。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本研究将生态足迹模型应用于我国水产品贸易生态足迹发展现状评价,揭示生态足迹的时空演变特征,并进一步运用 ARIMA 模型预测中国水产品贸易的生态发展情况,探究中国水产品贸易生态足迹未来发展趋势。研究结果表明:

(1) 中国水产品出口与进口生态足迹绝对值较大,不同种类水产品贸易生态足迹值差距较大。中国水产品出口生态足迹整体虽然前期呈现波动上升趋势,但是后期呈现明显下降态势;进口生态足迹整体呈现上升趋势,而且虽然进口生态足迹增长速度高于出口生态足迹,但是生态输出仍处于高水平状态。不同种类水产品贸易生态足迹发展状况差距较大,中国 034 类水产品贸易几乎长期存在生态净输入,但是 035 类和 036 类水产品贸易几乎长期存在生态净输出。因此,中国水产品贸易结构亟待优化升级,水产品加工业升级潜力巨大。

(2) 中国水产品贸易生态净值近期呈现显著上升趋势,但整体生态净值态势不稳定,而且不同种类水产品贸易生态净值差别较大。2001—2008 年生态净值处于平稳上升状态,2008—2016 年生态净值开始快速缩减并再次变为负值,2016—2020 年中国水产品贸易生态净值快速增长。分种类来看,生态净值变化受 036 类水产品主导,三类水产品贸易生态净值差别较大。

(3) 中国与 35 个主要国家和地区的水产品贸易生态净值时空演变特征显示,在时间维度上整体变化程度不高,但在空间维度上存在明显的异质性问题,并且集中程度变化较为明显。其中,在时间维度上,个别国家和地区的生态输入或输出状态有所改变,大多数贸易国家和地区保持相对稳定。在空间维度上,中国水产品贸易生态净输出集中程度有所下降,生态净输入集中程度有所上升;不同贸易国家和地区之间存在较大差别。因此,生态输入安全度有待提升。

(4) 中国水产品出口贸易生态足迹和进口贸易生态足迹主要国家分布基本保持稳定,但是少数主要国家变化明显,水产品出口贸易和进口贸易集中度均较高。中国水产品出口贸易总体足迹主要国家分布处于相对稳定状态,波动变化较小,中国水产品出口贸易集中度高;中国水产品进口贸易主要国家虽然存在一定的波动变化,但是相对稳定,中国水产品进口贸易集中度较高。

(5) 预测 2021—2025 年中国水产品出口和进口生态足迹处于明显不平衡状态,2025 年中国水产品贸易生态净值依然存在明显的空间异质性特征。由预测结果可知,未来五年中国水产品出口生态足迹值明显降低,进口生态足迹值明显增加,即生态输出呈现递减态势、生态输入呈现递增趋势。2025 年中国与 35 个主要国家和地区的水产品贸易生态净值空间分布有所变化,对美国和日本的生态净输出程度进一步提高,与澳大利亚和泰国由生态净输出变为生态净输入,与越南和印度尼西亚生态净输入程度提高。因此,通过预测可知生态输入与输出的稳定性问题将进一步凸显。

### 4.2 政策建议

基于以上研究结论,本文为优化水产品贸易生态足迹,促进中国水产品贸易的可持续发展,提出以下对策

建议。

(1) 优化水产品贸易结构,提高水产品贸易生态效益。针对出口贸易,推动产业升级,提高 035 类和 036 类水产品为主的产品附加值,进一步提升中国水产品国际竞争力。以此优化出口结构,增加中高端水产品出口占比,降低生态要素密集型产品占比,从而减少生态输出;挖掘不同市场消费者需求偏好,提供适合不同国家饮食文化的深加工产品,向日本、美国等国家出口高附加值水产品,从而优化水产品出口贸易生态效益。针对进口贸易,提高生态要素相对密集的水产品进口占比,保证国外生态要素的有效输入,提高水产品进口的生态效益。同时,增加初级优质水产品进口,不但可以满足国内日益增长的水产品消费需求,还可以为深加工水产品出口贸易提供原材料支撑,从而优化我国水产品贸易结构。

(2) 畅通产业双循环路径,保障水产品贸易可持续发展。深度挖掘国内市场的水产品潜在需求,充分利用水产品超大规模市场需求,深化国内水产品供给侧改革,畅通水产品的国内大循环,推动水产品产业高质量发展;抓住区域全面经济伙伴关系协定(RCEP)的发展机遇,改善中国水产品贸易环境,深入挖掘日本和澳大利亚等 RCEP 国家对水产品需求特征,实现国内外市场水产品贸易信息的动态精准对接;以水产品进口推动国内水产品加工产业的高质量发展,通过国际循环促进行业技术标准的提高,打破国外绿色和技术贸易壁垒提升水产品质量。通过畅通国内国际双循环路径,为中国水产品贸易可持续发展保驾护航。

(3) 提升海洋科技创新能力,减少水产品出口贸易生态占用。一方面,由政府牵头,建立政企学研金服用多元合作平台,加强水产品技术创新。加大科技创新资金投入与人才投入,提高产业科技创新能力,提升不同品类水产品的科技含量与生产效率,促进海洋生态效率的提升。同时,通过对水产品精深加工实现产品创新,缓解水产品贸易生态足迹对生态承载力带来的压力,减少单位贸易额的生态资源消耗。另一方面,加快海洋牧场与智慧渔业建设进程,加强近海养殖与远洋捕捞的技术创新。大力发展深远海养殖,提高深远海养殖科技创新能力,改善近海生态环境,优化水产品贸易生态足迹。加快渔业“数智化”发展,提升选种育种、病虫害防治以及生态环境修复等相关配套技术水平,确保水产品行业的技术可持续支持。总之,通过养殖、捕捞、生产加工及生态环境保护等方面技术创新提高资源环境利用效率,减少水产品贸易所产生的一系列生态占用。

(4) 深化多边贸易合作体制,优化进出口地理结构。加强与各国水产品贸易多边合作联系,及时跟进贸易国家与地区相关措施,加快自由贸易试验区的开放进程。作为对国内水资源利用影响较大的农产品,一方面,利用“一带一路”、“区域全面经济伙伴关系协定”等发展战略,积极开拓进口来源地,加速推进水产品进口市场多元化,保证进口市场的稳定性,降低进口生态足迹集中程度。另一方面,深入挖掘国际市场消费者需求偏好,培育具有特色的水产品,增强水产品在国际市场的竞争力;针对频发的贸易战和贸易摩擦,完善水产品贸易壁垒应急处理机制,并不断拓展“一带一路”沿线国家、非洲国家等潜在的出口市场,降低出口生态足迹过于集中可能带来的贸易风险,并减少由此造成的生态价值损失。

中国渔业产品出口以水产品为主,水产品贸易以耗费生态资源的低附加值初级产品为主。因此本文以初级水产品贸易为研究对象,从生态足迹视角探究中国水产品贸易生态足迹发展情况,并对未来水产品贸易生态足迹进行预测分析。同时提出优化水产品贸易结构、畅通产业双循环路径、提升海洋科技创新能力、深化多边贸易合作体制等对策建议,以期优化中国水产品贸易生态足迹,减少水产品生态输出,促进中国水产品贸易可持续发展。未来随着中国生态文明建设水平不断提升与产业结构的不断优化,水产品贸易将以出口初级水产品为主转变为出口深加工产品为主。此后,将从水产品贸易规模和贸易结构两方面对中国水产品贸易生态足迹进行分析,进一步优化本文的相关研究。

#### 参考文献(References):

- [1] 欧阳志远,任文菡,马骋,高翔,刘西汉. 日本核污染水排放对中国海洋经济的影响及应对(笔谈). 河北经贸大学学报, 2024, 45(1): 17-24.
- [2] 李书峰,刘畅,毛潇波. 数字贸易背景下中国农产品出口的困境与出路. 价格月刊, 2021(8): 60-64.
- [3] Fu X M, Wu W Y, Lin C Y, Ku H L, Wang L X, Lin X H, Liu Y. Green innovation ability and spatial spillover effect of marine fishery in China.

- Ocean & Coastal Management, 2022, 228: 106310.
- [ 4 ] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Callejas Linares A, Susana López Falfán I, Méndez Garcia J, Isabel Suárez Guerrero A, Guadalupe Suárez Guerrero M. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [ 5 ] 洪顺发, 郭青海, 李达维. 基于生态足迹理论的中国生态供需平衡时空动态. *资源科学*, 2020, 42(5): 980-990.
- [ 6 ] 付秀梅, 李晓楠, 林春宇, 薛诚, 陈睿姝, 鹿守本. 基于科学知识图谱的生态足迹研究演进、框架与前沿中外比较. *生态学报*, 2022, 42(13): 5543-5557.
- [ 7 ] 马晓蕾, 王婕, 刘若男. 中国“水量”和“水质”生态足迹及可持续能力量化方法与实证研究. *生态学报*, 2023, 43(9): 3677-3688.
- [ 8 ] Hammond G. Time to give due weight to the ‘carbon footprint’ issue. *Nature*, 2007, 445: 256.
- [ 9 ] 苏冰涛. 中国城乡居民食品消费碳足迹的变化趋势. *中国人口·资源与环境*, 2023, 33(3): 13-22.
- [ 10 ] 徐秀美, 郑言. 基于旅游生态足迹的拉萨乡村旅游地生态补偿标准——以次角林村为例. *经济地理*, 2017, 37(4): 218-224.
- [ 11 ] Lan J, Malik A, Lenzen M, McBain D, Kanemoto K. A structural decomposition analysis of global energy footprints. *Applied Energy*, 2016, 163: 436-451.
- [ 12 ] Yu N, Sun R J, Yang S. Multi-dimensional factor coupling-driven mechanism of spatio-temporal evolution of energy ecological footprint: evidence from China. *Ecological Indicators*, 2024, 159: 111701.
- [ 13 ] Solarin S A, Tiwari A K, Bello M O. A multi-country convergence analysis of ecological footprint and its components. *Sustainable Cities and Society*, 2019, 46: 101422.
- [ 14 ] Zhou D J, Kongkuah M, Twum A K, Adam I. Assessing the impact of international trade on ecological footprint in Belt and Road Initiative countries. *Heliyon*, 2024, 10(4): e26459.
- [ 15 ] 林永钦, 齐维孩, 祝琴. 基于生态足迹的中国可持续食物消费模式. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 338-347.
- [ 16 ] 焦士兴, 王安周, 陈林芳, 张建伟, 赵荣钦, 李中轩, 尹义星. 中国省域三维生态足迹及其驱动研究. *世界地理研究*, 2022, 31(5): 988-997.
- [ 17 ] 陈义忠, 乔友凤, 郝灿, 卢宏伟, 彭贺, 夏军. 长江中游城市群生态足迹指标与社会经济发展的适配性. *资源科学*, 2022, 44(10): 2137-2152.
- [ 18 ] 熊鹰, 艾赣雄, 周晨, 姚颖, 谢庆. 基于改进三维生态足迹模型的洞庭湖区生态可持续时空演化研究. *生态学报*, 2022, 42(3): 1165-1179.
- [ 19 ] 张婉玲, 邹磊, 夏军, 宋进喜, 乔云峰. 长江中游城市群水资源生态足迹时空演变及其驱动因素分析. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(1): 83-92.
- [ 20 ] 李昭华, 傅伟. 中国进出口贸易内涵自然资本的生态足迹分析. *中国工业经济*, 2013(9): 5-18.
- [ 21 ] Tian G, Huang J. Comparative Advantages of China’s Foreign Trade from the Perspective of Ecological Footprint. *Ekoloji*, 2018, 27(106): 1687-1696.
- [ 22 ] Moran D D, Wackernagel M C, Kitzes J A, Heumann B W, Phan D, Goldfinger S H. Trading spaces: calculating embodied Ecological Footprints in international trade using a Product Land Use Matrix (PLUM). *Ecological Economics*, 2009, 68(7): 1938-1951.
- [ 23 ] Kongbuamai N, Zafar M W, Zaidi S A H, Liu Y. Determinants of the ecological footprint in Thailand: the influences of tourism, trade openness, and population density. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(32): 40171-40186.
- [ 24 ] Usman M, Kousar R, Yaseen M R, Makhdam M S A. An empirical nexus between economic growth, energy utilization, trade policy, and ecological footprint: a continent-wise comparison in upper-middle-income countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(31): 38995-39018.
- [ 25 ] 陈伟, 宋维明. 基于生态足迹的国际贸易比较优势变化——以中国原木进口为例. *国际经贸探索*, 2016, 32(8): 41-52.
- [ 26 ] 胡玥, 刘晓轩. 贸易摩擦背景下中美水产品贸易展望及应对策略. *对外经贸实务*, 2020(7): 45-48.
- [ 27 ] 李晨, 王丽媛. 中国主导的“一带一路”沿线国家区域价值链构建研究——以水产品出口贸易为例. *宏观经济研究*, 2018(9): 72-84.
- [ 28 ] Schipanski M E, Bennett E M. The influence of agricultural trade and livestock production on the global phosphorus cycle. *Ecosystems*, 2012, 15(2): 256-268.
- [ 29 ] Pace M L, Gephart J A. Trade: a driver of present and future ecosystems. *Ecosystems*, 2017, 20(1): 44-53.
- [ 30 ] 张瑛, 赵露, 陈雨生. “一带一路”战略下我国水产品出口贸易研究——以山东省为例. *厦门大学学报: 哲学社会科学版*, 2018(4): 135-144.
- [ 31 ] 张瑛, 李先强. 中国水产品出口影响因素研究. *海洋科学*, 2022, 46(12): 63-73.
- [ 32 ] 李晨, 丛睿, 邵桂兰. 基于 MRIO 模型与 LMDI 方法的中国水产品贸易隐含碳排放转移研究. *资源科学*, 2018, 40(5): 1063-1072.
- [ 33 ] 王俊杰. 中国国家自然资源资产负债表编制——基于生态足迹方法. *当代财经*, 2022(6): 123-138.
- [ 34 ] 陈琰, 由黎, 赵淳, 胡荣华. 中国进出口贸易的生态足迹核算. *资源科学*, 2010, 32(7): 1289-1295.
- [ 35 ] 蔡鑫, 陈永福, 陈洁. 我国水产品国际竞争力影响因素的实证分析. *大连理工大学学报: 社会科学版*, 2018, 39(2): 47-54.
- [ 36 ] 米健, 罗其友, 陈宏. 中国水产品出口动力的三元边际分析. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(12): 84-92.
- [ 37 ] 孙才志, 郑靖伟. 基于投入产出表的中国水资源消耗结构路径分析. *地理科学进展*, 2021, 40(3): 370-381.
- [ 38 ] 王廷勇. “双循环”视域下我国水产品对外贸易的潜力、挑战及对策. *对外经贸实务*, 2021(3): 23-26.