

文章编号: 1000-0615(2019)09-1981-12

DOI: 10.11964/jfc.20190511805

## 粤东柘林湾海洋牧场景观结构与格局的分析研究

段丁毓<sup>1,2</sup>, 秦传新<sup>1\*</sup>, 朱文涛<sup>1,2</sup>, 马鸿梅<sup>1,3</sup>

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 国家农业科学渔业资源环境大鵬观测实验站, 农业农村部南海渔业资源环境科学观测实验站, 中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室,

广东省渔业生态环境重点实验室, 广东广州 510300;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

3. 江苏海洋大学海洋生命与水产学院, 江苏连云港 222000)

**摘要:** 海洋牧场与休闲渔业融合发展是我国海洋牧场发展方向之一, 现阶段海洋牧场休闲产业规模较小, 类型较为单一, 主要以游钓和潜水休闲为主, 其景观观赏性功能有待深入挖掘和开发。海洋牧场景观格局研究主要针对海洋牧场景观资源的形成、分布及其在景观空间上排列和布局等方面, 发现并了解其生态系统或空间属性变异程度表现现象。本研究以粤东柘林湾海洋牧场示范区为案例, 采用景观格局分析法对景观要素特征指数及景观异质性指数进行计算, 研究表明, 粤东柘林湾海洋牧场示范区自然景观为景观基质, 半自然景观斑块面积最多, 故破碎度指数最高, 受人类活动影响最大, 对生物多样性保护及景观生境维护应加强; 文化景观与整体景观分离度较大, 导致整体景观连通性较差, 影响景观效果; 滨海景观斑块较少, 丰富度不高, 但根据调查显示周边旅游资源丰富, 因此缺乏与粤东柘林湾海洋牧场结合开发利用。总之, 本研究通过解析海洋牧场景观格局空间内不同景观的分布状况及相互之间的作用和影响, 为下一步进行景观生态规划提供数据支持, 并为开发和利用海洋牧场休闲渔业与生态景观可持续化发展, 综合提升海洋牧场的生态、经济和社会价值提供支撑。

**关键词:** 海洋牧场; 景观格局; 景观要素特征; 景观异质性; 景观生态规划

**中图分类号:** S 931

**文献标志码:** A

景观格局是大小和形状各异的景观要素斑块在空间上进行排列和组合所形成的空间格局<sup>[1]</sup>。斑块-廊道-基质的组合作为最常见、最简单的景观空间格局构建形式, 决定景观功能、格局和过程随时间变化产生的变化因素<sup>[2]</sup>。斑块是外观不同于周围环境相对均值的非线性地表区域, 是景观构成的基础结构单元<sup>[2-3]</sup>。海洋牧场由于各景观要素成因不同, 斑块形成的大小、形状以及外部特征对整体景观格局的影响也不同。在海洋牧场中斑块可以是有生命的, 如海洋牧场内不同动植物种群, 也可以是无生命的, 如

海底构筑物、岛礁及裸岩等; 可以是自然环境中形成的, 也可以是人工建设的。廊道呈现条带状且不同于两侧基质的狭长地段, 有时是隔离状, 有时是与周围基质呈连续过渡段分布, 景观被廊道所连接又被廊道所分割<sup>[1, 4]</sup>。由于海洋牧场空间结构比较复杂, 海上功能区域内与陆地有所不同, 廊道之间的连接应多趋于海上航道及观景平台等建筑设施来与各景观斑块连通, 其中可包括自然廊道或人工廊道。基质是景观中面积最大、连通性最好的景观要素类型, 通过相对面积、连接度和动态变化来确定基质。

收稿日期: 2019-05-25 修回日期: 2019-06-28

资助项目: 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2019ZD1101; 2017YB04); 国家自然科学基金(41206119); 公益性行业(农业)科研专项(201003068)

通信作者: 秦传新, E-mail: qincx@scsfri.ac.cn

目前,海洋牧场的研究主要集中在人工鱼礁空间布局及建礁效果评估、环境效应研究、用海适宜性评价、生物群落研究、驯化技术设计<sup>[5-9]</sup>等方面,而通过分析景观结构与格局提升海洋牧场整体生态和效益方面的研究尚未见报道。运用景观空间结构的分析在海洋生态系统、生物栖息地、海岛等不同生态系统中的研究逐渐成为景观可持续利用与生态调节的有效方法,如通过分析景观格局评价中华鲟(*Acipenser sinensis*)栖息地;研究景观生态学在海洋生物多样性保护的应用<sup>[10]</sup>;研究红树林群落和景观分布特征,为维护红树林生态系统及区域生物多样性保护、生态环境改善提供依据<sup>[11]</sup>;在景观格局方法基础上,优化滩涂围垦景观,为其生态设计和管理提供科学依据<sup>[12]</sup>;通过揭示自然过程和人类活动对湿地景观演变的影响机理,为河口湿地生态系统的保护和景观生态规划提供新视角<sup>[13]</sup>;通过景观空间格局特征分析海岛,控制建设规模、优化景观布局,维系海岛生态系统稳定<sup>[14]</sup>等。研究海洋牧场景观格局指数是为了更好的分析海洋牧场景观结构与功能过程的相互关系,了解其景观空间形成原因与作用机制,为后续海洋牧场景观化研究提供有效手段,同时为海洋牧场生态、经济和社会效益可持续发展提供科学依据。

景观格局分析法主要包括了景观特征指数分析和景观异质性分析,其目的是为了从似乎无序的景观斑块镶嵌中发现景观格局潜在的规律性,从而确定景观空间格局形成的因子和机制<sup>[1, 15]</sup>。本研究以粤东柘林湾海洋牧场为案例,运用景观格局分析法,采取景观要素特征指数(landscape path characteristic index)与景观异质性指数(landscape heterogeneous index)为主要计算指标,分析了柘林湾海洋牧场景观结构特征及异质性变化,并根据分析结果提出了柘林湾海洋牧场优化设计方案,以期为进一步海洋牧场景观生态规划提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域概况

柘林湾海洋牧场示范区(23°26'20"~23°37'59"N, 116°54'47"~117°12'36"E),位于广东省潮州市饶平县南部柘林湾与汕头市南澳岛隔海相望。建设起止时间为2010年1月至2014年

12月,总面积 $2.067 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。依托人工海洋牧场高效利用配套技术模式研究与示范项目、中国水产科学研究院南海水产研究等科研单位,对该研究区域优化配置了5个海洋牧场功能区,形成了人工鱼礁区、网箱增殖区、增殖放流区、贝类底播区和海藻增殖区<sup>[16-19]</sup>。其中饶平县南铲人工鱼礁区(23°34'00"~23°35'30"N, 117°10'50"~117°12'30"E),礁区面积为 $3.15 \text{ km}^2$ ,饶平县溜牛人工鱼礁区(23°30'38.9"~23°31'52.6"N, 117°12'9.5"~117°12'47.2"E),礁区面积为 $10.37 \text{ km}^2$ ;浅水浮式聚鱼构件示范面积 $6.67 \text{ km}^2$ ,深水浮式聚鱼构件示范面积 $1.27 \text{ km}^2$ ;底播增殖贝苗41.6亿粒,形成贝床示范面积 $5.2 \text{ km}^2$ ;海藻场示范区面积 $3.33 \text{ km}^2$ <sup>[16-19]</sup>。周边旅游资源条件丰富,饶平县柘林湾内有海山岛、汛洲岛、西澳岛等自然风光独特的岛屿,还有金狮湾天然滨海浴场及国家4A级景区汕头市南澳岛,不仅生物多样性丰富而且是旅游资源发达的海岛<sup>[20, 21]</sup>。

### 1.2 数据来源

本研究以2015—2018 Google Earth历史影像为基础底图进行目视解译,根据段丁毓等<sup>[19]</sup>建立柘林湾海洋牧场景观生态分类系统(表1),从斑块数、斑块密度、最大斑块指数、平均斑块指数、斑块面积及斑块丰富度等方面进行分析。并通过Global Mapper软件与野外实地考察相结合得出部分斑块面积,建立开放景观区矢量数据库,根据实地考察与当地旅游网站数据([http://www.raoping.gov.cn/Category\\_8/Index.aspx/](http://www.raoping.gov.cn/Category_8/Index.aspx/))得到建筑景观及文化景观斑块数据,建立柘林湾海洋牧场空间地理数据库。

### 1.3 研究方法

研究采用景观格局分析法,该方法能够反映其结构组成和空间配置相关特征,了解景观演变过程中的景观过程与变化,以及已经向景观演变的形成因素等,从而更好地评价景观格局,为景观规划奠定基础<sup>[15, 22]</sup>。采用景观要素特征指数、景观异质性指数进行计算,计算方法与公式参考已有文献<sup>[13, 15, 23-26]</sup>。通过结果分析景观结构组成特征和空间配置关系,了解各景观中景观资源的生态意义及组成分布,为景观规划提供科学依据。

景观要素特征指数 用来定量描述斑块基本特征的数量指标,例如斑块面积、斑块周

表 1 柘林湾海洋牧场景观生态分类系统<sup>[18]</sup>

Tab. 1 The landscape system of marine ranching in Zhelin Bay

一级 one-level	二级 two-level	三级 three-level
开放景观 open landscape	自然景观 natural landscape	近岸景观 landscape type
		浅海景观 shallow sea landscape
		滩涂景观 tidal flat landscape
		海滩景观 beach landscape
		岛礁景观 island landscape
		人工鱼礁景观 artificial reef landscape
		海藻景观 seaweed landscape
		传统网箱景观 traditional cage landscape
		深水网箱景观 deep-water net cage landscape
		贝藻综合增殖景观 comprehensive multiplication of shellfish algae
	筏式增殖景观 raft multiplication landscape	
	增殖放流景观 stock enhancement landscape	
	贝类底播景观 shell fish bottom sowing landscape	
	滨海旅游景观 seaside tourist landscape	
	历史人文景观 historical and humanistic landscape	
	海商文化景观 maritime commercial cultural landscape	
建筑景观 construction landscape	滨海景观 coastal landscape	
	文化景观 cultural landscap	
	科教文化景观 scientific and educational cultural landscape	
	海洋文化景观 marine cultural landscape	

长和斑块数等特征数值<sup>[1, 15]</sup>。

斑块数( $N$ )是指景观中所有斑块数量, 其表达式:

$$NP = N \quad (1)$$

式中 $NP$ 代表景观斑块数,  $N$ 表示景观中斑块类型的数量, 其中取值范围:  $NP \geq 1$ , 无上限。

斑块面积( $CA$ )是指斑块的大小, 通常以平方米( $m^2$ )或公顷( $hm^2$ )为单位来量度, 物种多样性与斑块面积之间的关系, 通常表示:

$$S = CA^Z \quad (2)$$

式中 $S$ 表示物种总数,  $A$ 表示斑块面积,  $C$ 和 $Z$ 为常数。

斑块密度( $PD$ )是指单位面积上的斑块数, 即每平方千米的斑块个数(个/ $km^2$ ), 其表达式:

$$PD = N/A \quad (3)$$

式中 $N$ 表示斑块个数,  $A$ 表示区域斑块面积。

最大斑块指数( $LPI$ )是指某一类型的最大斑块在整个景观中所占比例, 其表达式:

$$LPI = \frac{\text{Max}(a1, \dots, an)}{A} \times 100\% \quad (4)$$

式中 $a$ 表示某一类型景观中的斑块,  $A$ 表示景观

总面积, 取值范围:  $0 < LPI \leq 1$ 。

平均斑块面积( $MPS$ )是指景观中所有斑块或者某一类型斑块的平均面积。其表达式:

$$MPS = \frac{A}{N} \quad (5)$$

式中 $A$ 表示景观总面积或某一类型斑块总面积,  $N$ 表示斑块数量, 取值范围:  $MPS > 0$ , 无上限。

斑块丰富度( $PR$ )是指景观中不同斑块类型的总数, 其表达式:

$$PR = m \quad (6)$$

式中 $m$ 表示不同类型景观斑块总数, 取值范围:  $PR > 0$ , 无上限。

景观异质性指数 景观属性的变异程度, 不仅体现在景观空间结构变化上, 还体现了景观组分在时间上的动态变化<sup>[1, 15]</sup>。

景观多样性指数( $H$ )反应不同景观类型分布的均匀化和复杂化程度, 包括Shannon多样性指数和Simpson多样性指数, 本研究采用Shannon多样性指数, 其表达式:

$$H = - \sum_{i=1}^m (P_i \cdot \ln p_i) \quad (7)$$

式中 $P_i$ 表示第 $i$ 类景观面积比,  $m$ 表示景观类型数。当景观中只有一种斑块类型时,  $H=0$ 。

景观均匀度指数( $E$ )反应各斑块类型在景观中面积分布的均匀程度。以Shannon多样性指数为例, 其表达式:

$$E = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{-\sum_{i=1}^m P_i \ln P_i}{\ln m} \quad (8)$$

式中 $E \leq 1$ , 当 $E$ 趋于1时, 景观斑块类型分布的均匀程度越趋于最大, 其中 $H$ 表示Shannon多样性指数,  $H_{\max}$ 表示 $H$ 的最大值。

景观丰富度是指不同组分或景观类型在景观中的总数, 相对丰富度指数( $R$ )是景观类型数与景观中最大可能的类型数在景观中比值, 其表达式:

$$R = \frac{M}{M_{\max}} \times 100\% \quad (9)$$

式中 $M$ 表示景观中现有的景观类型数;  $M_{\max}$ 表示最大可能的景观类型数。

景观破碎度指数( $I$ )指在景观中的破碎化程度, 其表达式:

$$I = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^m N_i \quad (10)$$

式中 $N_i$ 表示第 $i$ 类景观斑块数,  $A$ 表示景观总面积,  $m$ 表示景观类型数。

景观分离度指数( $F_i$ )指某一景观类型中不同斑块个体分布的分离程度, 其表达式:

$$F_i = \frac{D_i}{S_i} \quad (11)$$

$$D_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{N_i}{A}}; \quad S_i = \frac{A_i}{A}$$

式中 $F_i$ 表示景观分离度指数,  $D_i$ 表示景观类型 $i$ 的距离指数;  $N_i$ 表示景观类型 $i$ 的斑块总数(个);  $A$ 表示景观的总面积;  $S_i$ 表示景观类型 $i$ 的面积指数;  $A_i$ 表示景观类型 $i$ 的总面积。

## 2 结果

### 2.1 景观要素特征指数

景观要素特征指数结果显示, 开放景观中自然景观斑块面积最大, 最大斑块指数为30.845%, 其中岛礁景观中斑块数最高为59, 总体斑块丰富度为5, 平均斑块面积为5.573 km<sup>2</sup>(表2), 表明自然景观中斑块面积之间相差较大, 各景观斑块

之间相互分散, 但从整体空间格局来看, 斑块所占面积比例相对均匀并且占景观的主导地位。半自然景观中斑块数在整个景观中斑块数量最多, 斑块数182, 斑块丰富度为7(表2), 说明在该景观中半自然景观的景观类型最为丰富, 以海洋牧场功能配置为主, 人类活动影响因素对海洋生物生态环境及对于整体景观的影响较大。并且, 在半自然景观中整体斑块面积为42.077 km<sup>2</sup>, 但平均斑块面积却只有0.231 km<sup>2</sup>, 在整体景观中斑块密度最大为4.325 2 个/km<sup>2</sup>(表2), 说明斑块过于密集, 整体空间结构较为拥挤, 与周边其他景观斑块连通性较差。滨海景观斑块面积为7.993 km<sup>2</sup>, 斑块密度为0.626 个/km<sup>2</sup>, 斑块丰富度为5, 在整个景观中各指数相对均匀偏差较小, 但最大斑块指数只有0.397%(表2), 说明在这个景观类型中各景观斑块与柘林湾海洋牧场结合性较差, 滨海旅游资源有待开发和利用。科教文化景观与海洋文化景观整体斑块数较少, 斑块丰富度分别只有3和2, 说明在柘林湾海洋牧场周边文化传播与发展较弱, 所占比重太小, 应加强文化建设与科教科普传播, 从而提升区域经济与文化共发展。

### 2.2 景观异质性指数

景观异质性结果显示, 在景观多样性指数中自然景观>海洋文化景观>半自然景观>滨海景观>科教文化景观, 自然景观多样性指数最大为1.070, 科教文化景观多样性指数为0.040(表3), 两者之间相差较大, 这表明总体景观多样性分布不均匀, 其中自然景观各类斑块所占面积比例趋于相似, 景观分布相对均匀复杂程度小, 整体景观的重要基质并且生物多样性程度越高; 而科教文化景观中各景观类型所占比例最小, 多样性指数为最低, 说明该研究区域景观建设中需要对文化景观价值更多体现, 增加文化传播及科普相关的旅游资源, 对于当地的文化资源进行大力开发及利用, 扩展精神文明建设与经济生态效益共同发展。相对丰富度指数中, 半自然景观>滨海景观、自然景观>科教文化景观>海洋文化景观, 其中半自然景观整体斑块数量最多为182, 相对丰富度指数为31.818%(表3), 说明该景观类型破碎化程度最高, 会导致景观趋于不稳定状况, 加上人为因素影响较强, 该景观类型区域需要加强生物多样性保护

表 2 柘林湾海洋牧场各景观要素特征指数

Tab. 2 Characteristic index of landscape elements in Zhelin Bay marine ranch

二级景观 two-level	斑块面积/km <sup>2</sup> patch area	斑块数/个 number of plaques	斑块密度/(个/km <sup>2</sup> ) patch density	最大斑块指数 largest patch index	平均斑块面积/km <sup>2</sup> mean patch area	斑块丰富度 landscape richness index
自然景观 natural landscape	457.014	82	0.179	30.845%	5.573	5
半自然景观 seminatural landscape	42.077	182	4.325	2.397%	0.231	7
滨海景观 coastal landscape	7.993	5	0.626	0.397%	1.599	5
科教文化景观 scientific and educational cultural landscape	5.039	3	0.595	0.754%	1.680	3
海洋文化景观 marine cultural landscape	118.000	2	0.017	10.792%	59.000	2
合计 summation	630.123	274			2.300	22

表 3 柘林湾海洋牧场景观异质性指数

Tab. 3 Landscape heterogeneity index in Zhelin Bay marine ranch

景观类型	景观多样性指数(H) landscape diversity index	相对丰富度指数(R) relative abundance	景观均匀度指数(E) evenness	景观破碎度指数(I) landscape fragmentation	景观分离度指数(F <sub>i</sub> ) landscape isolation
自然景观 natural landscape	1.070	22.727%	0.243	0.130	0.061
半自然景观 seminatural landscape	0.290	31.818%	0.056	0.289	0.789
滨海景观 coastal landscape	0.070	22.727%	0.043	0.008	3.511
科教文化景观 scientific and educational cultural landscape	0.040	13.636%	0.036	0.005	4.314
海洋文化景观 marine cultural landscape	0.440	9.091%	0.635	0.003	0.150

措施。从景观均匀度来看, 海洋文化景观>自然景观>半自然景观>滨海景观>科教文化景观, 其中海洋文化景观斑块面积相对分布均匀, 景观均匀度指数为0.635, 科教文化景观斑块面积分布最为分散, 景观均匀度指数最低为0.036(表3), 说明在同一种景观中两个斑块类型分布差异较大, 使整体景观关联性较为复杂多变, 对于景观空间构造的塑造会产生影响。在景观破碎度指数中显示, 半自然景观>自然景观>滨海景观>科教文化景观>海洋文化景观, 其中半自然景观破碎化程度最高为0.289(表3), 说明该景观类型中破碎程度会趋于最大, 整体景观复杂性很高, 在进行景观规划时要特别注意该景观区域的生物因素和非生物因素及人类活动影响, 半自然景观是柘林湾海洋牧场主要功能性景观区域, 是整体景观规划考虑的重点部分, 同时也是对整体景观规划影响最大的因素。景观分离度上显示, 科教文化景观分离度指数最高为4.314(表3), 说明该景观类型斑块之间分隔较大, 会

导致作为物质和物种流通的廊道被切断, 斑块间彼此被隔离, 从而削弱景观整体性, 影响景观规划效果。

### 3 讨论

#### 3.1 景观要素特征分析是海洋牧场景观优化的基础

景观要素特征指数研究已成为景观格局分析的重要组成部分<sup>[27-28]</sup>, 了解景观要素各干扰因子间相互作用程度是研究海洋牧场区域景观生态格局变化过程的关键。近年来, 我国海洋牧场在建设规模、产出效果、技术水平、发展机制等方面都取得了巨大的进步<sup>[29]</sup>。发挥海洋牧场建设的同时, 带动了休闲垂钓和旅游观光等相关产业发展, 是实现海洋牧场多元化、效益综合化的有效途径<sup>[30]</sup>。本研究发现, 可通过人工鱼礁、贝类底播、海藻场及筏式增殖等不同功能区的景观要素特征指数分析结果, 了解海洋牧

场生态环境与生物生境状况,为合理规划和增设休闲观景平台和休闲垂钓等设施提供基础依据,从而提高区域景观效果与经济和生态效益。

柘林湾海洋牧场示范区具有良好地自然地理环境和海洋生物资源,为海洋牧场休闲渔业、旅游业的开发与优化提供基础条件。海洋景观要素对整体景观控制作用较强,它影响和控制着整个景观中生物生境斑块之间的物质与能量转换,掌控着整个景观之间的连接度,从而影响斑块之间物种的迁移,对生物多样性保护起着关键性作用和影响。此外,根据研究结果发现,柘林湾海洋牧场中滨海旅游景观与科教文化景观斑块丰富度最小,但根据研究区域旅游资源与地域文化资源分布状况来看<sup>[31-33]</sup>,可供开发的休闲旅游资源丰富,显然并未被柘林湾海洋牧场合理利用。这与陆地景观格局研究中张明明等<sup>[34]</sup>对国家自然保护区进行景观要素特征指数分析、桂国敏等<sup>[35]</sup>在城市公园绿地景观格局研究中以景观要素特征指数基础分析结果类似,均可从结果中了解各景观斑块的基础特征状况与分布情况。影响海洋牧场景观特征指数结果的主要因素包含两部分内容,一是不同类型斑块的不同景观驱动因素,二是各景观占比情况及各斑块的基础特征因素。这些因素可反映景观的基本特征及变化和分布状况,从而得到各斑块所占比例及各斑块之间的关系特征,

为更好地优化规划方案提供依据<sup>[10,12-14]</sup>。

### 3.2 景观异质性分析为海洋牧场景观空间格局优化提供数据支持

景观异质性反应景观构成与空间结构变异和复杂程度,以景观多样性、景观破碎化及景观分离度等指数来体现景观的异质性效果<sup>[36-37]</sup>。对景观异质性研究逐渐在海洋领域运用,通过对海岛植被空间异质性、海岸带空间异质性及格局演变、沿海滩涂景观异质性特征研究等方面研究<sup>[38-41]</sup>,体现了景观异质性对海洋空间异质差异规律及影响机制的不同作用,也为不同海洋环境保护和修复提供理论数据化分析及基础。

从景观异质性指数来看(图1),由于柘林湾海洋牧场景观格局网络较不完整,不同景观类型空间异质性趋势变化较大,其中自然景观多样性指数最高,反映了海洋牧场景观类型斑块所占面积比例差异较大,景观多样性变化较小,景观变化虽会趋于稳定,但是会使景观丰富程度减少。半自然景观在整个景观中丰富度最高,景观破碎化程度增加对物种多样性变化影响最大,景观空间结构趋于复杂且多变的状态,且人为因素对海洋牧场生物栖息环境和生物多样性演变有较大影响。根据柘林湾海洋牧场景观格局指数分析,滨海景观斑块丰富度较低,对利用滨海旅游资源开发和利用较少,但

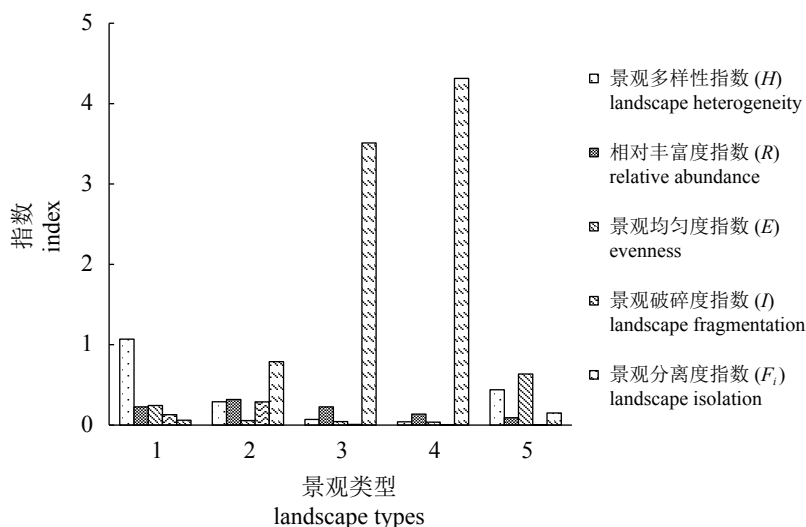


图1 柘林湾海洋牧场各景观异质性指数变化趋势图

1. 自然景观, 2. 半自然景观, 3. 滨海景观, 4. 科教文化景观, 5. 海洋文化景观

Fig. 1 Trend map of variation of landscape heterogeneity index in Zhelin Bay marine ranch

1. natural landscape, 2. seminatural landscape, 3. coastal landscape, 4. scientific and educational cultural landscape, 5. marine cultural landscape

该示范区实际周边旅游资源发达,靠近潮州市饶平县海域有海山岛(海滩岩田)、西澳岛的“白鹭天堂”旅游资源开发、滨海旅游度假村、海鲜农家乐、水产品加工体验等旅游项目开发<sup>[31-33]</sup>;靠近汕头市南澳县是国家4A级旅游景区,也是广东省滨海旅游示范景区,滨海旅游资源丰富。因此,在对柘林湾海洋牧场景观规划时引入滨海旅游业,与休闲渔业的第一产业(渔业)及第三产业(服务业)相互融合,促进海洋渔业、滨海休闲旅游与服务功能复合化发展。通过对柘林湾海洋牧场景观异质性分析,可为景观格局优化提供科学的数据支持,从而促进滨海旅游资源与区域经济资源有效利用。在以海洋牧场渔业供给功能,带动整体生态经济发展,通过旅游资源开发提高经济附加值,渔业产品和生态环境为消费者提供休闲渔业体验需求,同时,还可以利用海上辅助设施、人工鱼礁等海洋牧场功能性产品促进科普教育型休闲产业延伸发展;拓展滨海旅游度假村、农家乐等海鲜餐饮产业链,也可为水产品流通和提高渔民收入、提升柘林湾海洋牧场经济发展等方面创造良好的契机。

### 3.3 景观空间格局分析提升海洋牧场景观优化配置

景观格局分析对生态系统的恢复力和稳定性有重要作用,也是景观生态规划的基础条件,根据景观空间格局分析,提出最优规划方案。赵军等<sup>[42]</sup>通过景观格局分析优化了草原景观空间结构,并为生态环境治理及草原资源可持续利用提供参考依据;胡义涛<sup>[43]</sup>根据林地景观格局动态变化分析,针对景观空间结构发展趋势提出格局优化策略;岳德鹏等<sup>[44]</sup>研究北京西北地区景观空间结构变化和异质性差异,提出景观格局优化方案,为该地区景观生态规划提供参考依据。相同的,通过对海洋牧场生物与环境之间的最佳斑块组合分析,可为海洋牧场中生物生境及生物多样性与休闲渔业结合发展提供优化配置,从而提高渔业生产力的同时促进经济、生态与社会效益的可持续发展。

不同类型的斑块在景观空间上的分布不同,柘林湾海洋牧场海上生态功能区域相比于陆地区域景观规划更为复杂和多变,开展海洋牧场景观规划需在各种自然环境与社会人文因素的共同作用下,结合不同景观要素对其进行

组合和配置。从柘林湾海洋牧场空间结构组合来看,人工鱼礁、网箱养殖、海藻场、贝类底播增殖等半自然景观与周边滨海景观、文化景观并存,不同类型斑块在空间格局上呈随机性分布。半自然景观中海洋底层生境和中上层生境、滨海旅游景观与科教、海洋文化在整体空间格局上为散点格局分布,没有规律性和连通性(图2)。

综上所述,为进一步优化配置海洋牧场,提升海洋牧场经济与生态效益,提出以下几点规划策略建议:①在海洋牧场景观生态规划原则与依据条件下进行合理规划;②可依据海洋牧场空间格局划分主要的空间区域,如自然区、生境区和休闲区等,每个区域都有不同的空间组合方式和生态功能,通过区域不同制定不同的景观效果;③生物生境景观化模式的建立,通过人工鱼礁、海藻场、网箱设施、海藻场、贝藻综合吊养、增殖放流等设施的不同属性与不同功能进行增设景观措施,如改变人工鱼礁大小、形状、排列方式等来促进景观效果,还可设立海上垂钓平台及潜水旅游等娱乐项目;④整体景观的廊道与结点设计,要结合研究区域当地的海洋功能区划,景观结点与廊道的衔接应尽可能避开商业和渔业用海等,避免海洋交通混乱,同时也要将景观结点之间连通性设计合理;⑤海洋牧场景观规划与休闲渔业、滨海旅游业相结合发展,促进海洋牧场经济与社会效益同步优化;⑥地域、海洋文化价值的建设,扩展研究区域历史人文与海洋文化的传承,使文化与设计相结合,提升可持续发展价值,促进海洋牧场的综合效益。

## 4 结论

景观空间格局的研究是利用景观格局分析方法来定量的描述空间格局,比较和分辨不同景观之间特殊意义和结构差异,以及确定景观格局与功能过程相互关系。本研究以柘林湾海洋牧场示范区为案例,根据柘林湾海洋牧场景观生态分类结果划分不同景观类型斑块,运用景观格局分析法对柘林湾海洋牧场景观空间结构进行探究,了解其斑块基本特征指数,分析景观异质性差异,讨论景观格局结构组成特征和空间配置关系,为柘林湾海洋牧场景观空间结构优化提供依据,对柘林湾海洋牧场景观规

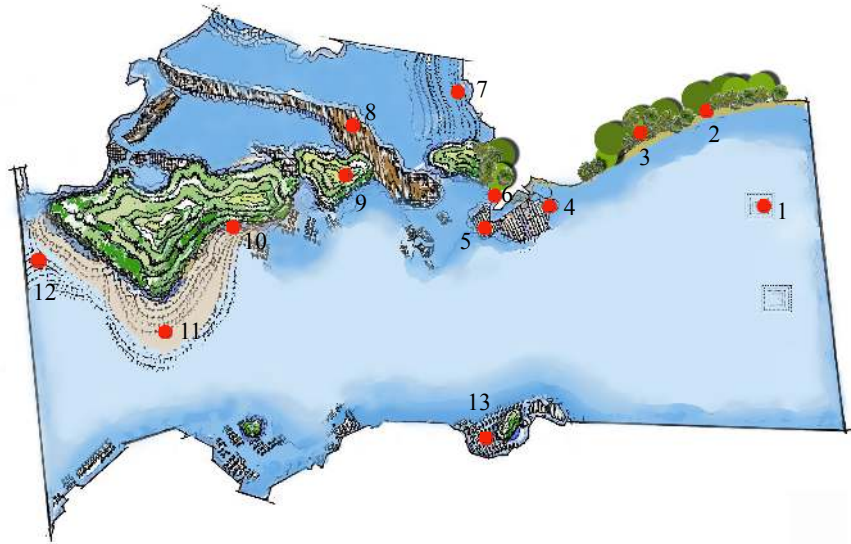


图2 柘林湾海洋牧场景观空间格局平面示意图

1. 人工鱼礁, 2. 海滩, 3. 滨海观光, 4. 深水网箱, 5. 海藻增殖, 6. 港口, 7. 贝类底播, 8. 传统网箱, 9. 海岛, 10. 岛礁, 11. 滩涂, 12. 筏式增殖, 13. 贝藻综合增殖

Fig. 2 Schematic diagram of spatial pattern of marine ranching in Zhelin Bay

1. artificial reef, 2. beach, 3. coastal tourism, 4. deep-water cage, 5. seaweed multiplication, 6. harbor, 7. shell fish bottom sowing, 8. traditional cage, 9. island, 10. reef, 11. tidal flat, 12. raft multiplication, 13. comprehensive multiplication of shellfish algae

划通过景观特性进行判断、综合评价, 为下一步提出最优利用方案奠定基础。同时也为优化提升海洋牧场休闲渔业与滨海旅游业, 促进海洋牧场生态、社会和经济效益的可持续发展提供理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 邬建国. 景观生态学——概念与理论[J]. *生态学杂志*, 2000, 19(1): 42-52.  
Wu J G. Landscape ecology-concepts and theories[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, 19(1): 42-52(in Chinese).
- [2] 王琳. 南通市景观格局与景观生态规划研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2006.  
Wang L. Study on landscape pattern and landscape ecological planning of Nantong[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2006(in Chinese).
- [3] 孟超, 王计平, 支晓蓉, 等. 基于GIS的县域森林景观空间格局等级特征研究[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(10): 187-194, 204.  
Meng C, Wang J P, Zhi X R, et al. Spatial characteristics

of forest landscape in county level based on GIS[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2018, 49(10): 187-194, 204(in Chinese).

- [4] 陈妍. 城市生态廊道景观空间格局研究[J]. *智能城市*, 2018, 4(22): 14-15.  
Chen Y. Study on spatial pattern of urban ecological corridor landscape[J]. *Intelligent City*, 2018, 4(22): 14-15(in Chinese).
- [5] 丁玲. 人工鱼礁设计优化的试验与仿真研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2018.  
Ding L. Experimental and simulation study on optimization of artificial fish reef design[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2018(in Chinese).
- [6] 李大鹏, 张硕, 黄宏. 海州湾海洋牧场的长期环境效应研究[J]. *中国环境科学*, 2018, 38(1): 303-310.  
Li D P, Zhang S, Huang H. Study on long-term environmental effects of marine ranching in Haizhou Bay[J]. *China Environmental Science*, 2018, 38(1): 303-310(in Chinese).
- [7] 卞盼盼. 海洋牧场用海适宜性评价空间分析模型研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2018.



- Bian P P. Study on spatial analysis model of marine suitability assessment for ocean ranching[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2018(in Chinese).
- [ 8 ] 陈涛. 基于浮游动物群落的象山港海洋牧场人工鱼礁建设效果分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- Chen T. Variation of artificial reef construction of marine ranching in Xiangshan bay based on zooplankton community[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014(in Chinese).
- [ 9 ] 张磊. 海洋牧场鱼类驯化技术研究及装备设计[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- Zhang L. Ocean ranching fish domestication technique research and equipment design[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014(in Chinese).
- [10] 丁骏. 长江口中华鲟栖息地景观格局变化及其适宜性评价[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- Ding J. The Chinese sturgeon habitat landscape pattern change in the Yangtze estuary and its habitat suitability assessment[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012(in Chinese).
- [11] 邱霓, 徐颂军, 邱彭华, 等. 珠海淇澳岛红树林群落分布与景观格局[J]. *林业科学*, 2019, 55(1): 1-10.
- Ni Q, Xu S J, Qiu P H, *et al.* Community distribution and landscape pattern of the mangrove on the Qi'ao island, Zhuhai[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2019, 55(1): 1-10(in Chinese).
- [12] 王明月, 李加林, 郑忠明, 等. 基于生态功能强度分析的滩涂围垦区景观格局优化[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(7): 1943-1949.
- Wang M Y, Li J L, Zheng Z M, *et al.* Landscape pattern optimization based on intensity of ecological function of mud flat reclamation: a case study of Dongtai County of Jiangsu Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(7): 1943-1949(in Chinese).
- [13] 周亮进. 闽江河口湿地景观格局动态研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- Zhou L J. Dynamic of landscape pattern of wetlands in Min River Esturay, Fuzhou, Fujian, China[D]. Shanghai: East China Normal University, 2007(in Chinese).
- [14] 池源, 石洪华, 王恩康, 等. 庙岛群岛北五岛景观格局特征及其生态效应[J]. *生态学报*, 2017, 37(4): 1270-1285.
- Chi Y, Shi H H, Wang E K, *et al.* Landscape pattern characteristics and ecological effects on Five Northern Islands of Miaodao archipelago[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(4): 1270-1285(in Chinese).
- [15] 何东进, 郭忠玲, 欧阳勋志, 等. 景观生态学[M]. 北京: 中国林业出版, 2013.
- He D J, Guo Z L, Ouyang X Z, *et al.* Landscape Ecology[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2013(in Chinese).
- [16] 马欢, 秦传新, 陈丕茂, 等. 南海柘林湾海洋牧场生物碳储量研究[J]. *南方水产科学*, 2017, 13(6): 56-64.
- Ma H, Qin C Q, Chen P M, *et al.* Study of biomass carbon storage in Zhelin bay marine ranch of South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(6): 56-64(in Chinese).
- [17] 林会洁, 秦传新, 黎小国, 等. 柘林湾海洋牧场不同功能区食物网结构[J]. *水产学报*, 2018, 42(7): 1026-1039.
- Lin H J, Qin C Q, Li X G, *et al.* Food web analysis in Zhelin Bay marine ranching[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(7): 1026-1039(in Chinese).
- [18] Qin C, Chen P, Zhang A, *et al.* Impacts of marine ranching construction on sediment pore water characteristic and nutrient flux across the sediment-water interface in a subtropical marine ranching (Zhelin Bay, China)[J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2018, 16(1): 163-179.
- [19] 段丁毓, 秦传新, 朱文涛, 等. 海洋牧场景观生态分类研究: 以柘林湾海洋牧场为例[J/OL]. *渔业科学进展*. (2019-05-22).<https://doi.org/10.19663/j.issn2095-9869.20190129001>.
- Duan D Y, Qin C Q, Zhu W T, *et al.* Study on the ecological classification of marine ranching based on landscape ecology: a case study in Zhelin Bay marine ranching[J]. *Marine Fisheries Research*. (2019-05-22).<https://doi.org/10.19663/j.issn2095-9869.20190129001> (in Chinese).
- [20] 林晓燕, 薛雄志. 基于生态足迹的南澳岛生态旅游开发探析[J]. *海洋开发与管理*, 2014, 31(8): 100-105.
- Lin X Y, Xue X Z. Exploration and analysis of Nanao island eco-tourism development based on ecological footprint[J]. *Ocean Development and Management*, 2014, 31(8): 100-105(in Chinese).
- [21] 侯隽. 汕头南澳岛: 腾跃中的粤东明珠[J]. *中国经济周刊*, 2009(11): 48-49.
- Hou J. Shantou Nanao island: the Pearl of East

- Guangdong in prance[J]. *China Economic Weekly*, 2009(11): 48-49(in Chinese).
- [22] 李哲, 张飞, 张海威, 等. 艾比湖典型区域景观格局及累积环境效应研究[J]. *环境科学与技术*, 2018, 41(4): 172-181.
- Li Z, Zhang F, Zhang H W, *et al.* Analysis of the environmental cumulative effect and landscape pattern in the typical region of Ebinur lake[J]. *Environment Science & Technology*, 2018, 41(4): 172-181(in Chinese).
- [23] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法[J]. *山地学报*, 2000, 18(4): 346-352.
- Zhang J T, Qiu Y, Zheng F Y. Quantitative methods in landscape pattern analysis[J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(4): 346-352(in Chinese).
- [24] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 等. 景观格局指标对不同景观格局的反应[J]. *生态学报*, 2004, 24(1): 123-134.
- Li X Z, Bu R C, Chang Y, *et al.* The response of landscape metrics against pattern scenarios[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 123-134(in Chinese).
- [25] 常学礼, 邬建国. 科尔沁沙地景观格局特征分析[J]. *生态学报*, 1998, 18(3): 225-232.
- Chang X L, Wu J G. Spatial analysis of pattern of sandy landscapes in Kerqin, Inner Mongolia[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(3): 225-232(in Chinese).
- [26] 王宪礼, 肖笃宁, 布仁仓, 等. 辽河三角洲湿地的景观格局分析[J]. *生态学报*, 1997, 17(3): 317-323.
- Wang X L, Xiao D N, Bu R C, *et al.* Analysis on landscape patterns of Liaohe Delta wetland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(3): 317-323(in Chinese).
- [27] 何东进, 洪伟, 胡海清, 等. 武夷山风景名胜区景观要素斑块特征分析[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(6): 574-577.
- He D J, Hong W, Hu H Q, *et al.* Analysis on the patch characteristics of landscape elements in the Wuyishan scenery district[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(6): 574-577(in Chinese).
- [28] 刘申, 王亚珍, 耿叙武, 等. 崂山风景区景观要素空间格局及其动态分析[J]. *东北林业大学学报*, 2004, 32(2): 55-58.
- Liu S, Wang Y Z, Geng X W, *et al.* Pattern of landscape elements and its dynamic analysis for the Laoshan beauty spot[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2004, 32(2): 55-58(in Chinese).
- [29] 陈丕茂, 贾晓平, 关长涛, 等. 中国海洋牧场发展战略研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 1.
- Chen P M, Jia X P, Guan C T, *et al.* Research on development strategy of marine ranch in China[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2017: 1(in Chinese).
- [30] 张震. 基于海洋牧场建设的休闲渔业开发研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- Zhang Z. Research on the development of recreational fishery based on the construction of marine ranching[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015(in Chinese).
- [31] 李萍, 周厚诚, 黄卫凯. 广东省南澳岛的生态旅游资源及开发战略[J]. *生态科学*, 2000, 19(4): 90-94.
- Li P, Zhou H C, Huang W K. The ecological tourism resources and development strategy in Nan'ao island, Guangdong[J]. *Ecologic Science*, 2000, 19(4): 90-94(in Chinese).
- [32] 赵飞, 彭华, 李新. 海岛旅游市场调查分析——以南澳岛为例[J]. *云南地理环境研究*, 2005, 17(4): 80-84.
- Zhao F, Peng H, Li X. An analysis on investigation of island's tourism market—a case study of Nan'ao island[J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2005, 17(4): 80-84(in Chinese).
- [33] 肖玲. 对于县域旅游规划重点问题的探讨——以饶平县旅游规划为例[J]. *热带地理*, 2002, 22(2): 138-141, 160.
- Xiao L. A discussion on some important problems in the tourism planning of Raoping county[J]. *Tropical Geography*, 2002, 22(2): 138-141, 160(in Chinese).
- [34] 张明明, 张黎俊, 粟海军, 等. 草海国家级自然保护区景观格局变化与景观发展强度研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2019, 35(3): 300-306.
- Zhang M M, Zhang L J, Su H J, *et al.* Study on the Landscape pattern changes and the landscape development intensity of Caohai national nature reserve, Guizhou[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2019, 35(3): 300-306(in Chinese).
- [35] 桂国敏, 魏雯, 黄贞珍. 高原湖滨城市公园绿地景观格局研究——以昆明市主城区为例[J]. *中国城市林业*, 2019, 17(2): 27-32.
- Gui G M, Wei W, Huang Z Z. Research on the landscape pattern of park green spaces in the plateau city: a case study of city core in Kunming[J]. *Journal of Chinese*

- Urban Forestry, 2019, 17(2): 27-32(in Chinese).
- [36] 赵玉涛, 余新晓, 关文彬. 景观异质性研究评述[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(4): 495-500.
- Zhao Y T, Yu X X, Guan W B. Review on landscape heterogeneity[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(4): 495-500(in Chinese).
- [37] 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 生态空间理论与景观异质性[J]. *生态学报*, 1997, 17(5): 453-461.
- Xiao D N, Bu R C, Li X Z. Spatial ecology and landscape heterogeneity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(5): 453-461(in Chinese).
- [38] 孙永光, 康婧, 王伟伟, 等. 海岛植被景观异质性空间特征对地形变化的响应——以大长山岛为例[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(6): 1705-1712.
- Sun Y G, Kang J, Wang W W, *et al.* Effect of topographical factors on spatial characteristics of island vegetation landscape heterogeneity: a case study with Dachangshan island[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(6): 1705-1712(in Chinese).
- [39] 李加林, 杨晓平, 童亿勤, 等. 江苏海岸带景观及其生态旅游的开发[J]. *海洋学研究*, 2010, 28(1): 80-87.
- Li J L, Yang X P, Tong Y Q, *et al.* Exploitation strategy of the coastal landscape ecotourism in Jiangsu[J]. *Journal of Marine Sciences*, 2010, 28(1): 80-87(in Chinese).
- [40] 陈国强. 城市化过程中海岸带景观异质性变化及其景观生态效应的初步研究——以厦门市马銮湾地区为例[J]. *海洋学报*, 2004, 26(4): 89-95.
- Chen G Q. Primary study on changes of landscape heterogeneity and landscape ecological effect: a case study of the Maluan Bay in Xiamen city[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(4): 89-95(in Chinese).
- [41] 沈永明. 江苏沿海淤泥质滩涂景观生态特征及其演替[J]. *南京晓庄学院学报*, 2005, 21(5): 98-102.
- Shen Y M. Landscape ecological character of Jiangsu Mud Flat and its succession[J]. *Journal of Nanjing Xiaozhuang College*, 2005, 21(5): 98-102(in Chinese).
- [42] 赵军, 魏伟, 冯翠芹. 天祝草原景观格局分析及景观利用格局优化[J]. *资源科学*, 2008, 30(2): 281-287.
- Zhao J, Wei W, Feng C Q. Landscape pattern analysis and optimized utilization in Tianzhu grassland based on RS and GIS technology[J]. *Resources Science*, 2008, 30(2): 281-287(in Chinese).
- [43] 胡义涛. 天目湖流域林地景观格局动态变化及其优化策略研究[D]. 苏州: 苏州科技大学, 2017.
- Hu Y T. Dynamic change of woodland landscape pattern and the optimization strategy in Tianmu lake watershed[J]. Suzhou: Suzhou University of Science, 2017(in Chinese).
- [44] 岳德鹏, 王计平, 刘永兵, 等. GIS与RS技术支持下的北京西北地区景观格局优化[J]. *地理学报*, 2007, 62(11): 1223-1231.
- Yue D P, Wang J P, Liu Y B, *et al.* Landscape pattern optimization based on RS and GIS in northwest of Beijing[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(11): 1223-1231(in Chinese).

## Research on landscape structure and pattern of marine ranching in Zhelin Bay, East Guangdong

DUAN Dingyu<sup>1,2</sup>, QIN Chuanxin<sup>1\*</sup>, ZHU Wentao<sup>1,2</sup>, MA Hongmei<sup>1,3</sup>

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Key Laboratory of Marine Ranching Technology, CAFS, Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources & Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, National Agricultural Science Fishery Resources and Environment Dapeng Observation Laboratory Station, Guangzhou 510300, China;

2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. College of Marine Life and Fisheries, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222000, China)

**Abstract:** The integrated development of marine ranching and recreational fishery is one of the development directions of marine ranching in China. At the present stage, the marine ranching leisure industry is small in scale and single in type, mainly for recreational fishing and diving, and its landscape ornamental function needs to be further explored and developed. The research on the landscape pattern of marine ranching mainly focuses on the formation and distribution of marine ranching landscape resources as well as their layout and arrangement in landscape space, aiming to understand the specific embodiment of the variation degree of its ecosystem or spatial attributes. Taking the marine ranching demonstration area in Zhelin Bay in eastern Guangdong Province as the research case, this paper used landscape pattern analysis method to calculate the characteristic index of landscape elements and the heterogeneity index of landscape. The results showed that the natural landscape in the marine ranching demonstration area in Zhelin Bay in eastern Guangdong Province is the landscape matrix, however, because of the largest patch area in the semi-natural landscape and the the highest fragmentation index, it is most affected by human activities, therefore the protection of biodiversity and the maintenance of landscape habitat should be strengthened. In addition, the large degree of separation between cultural landscape and the overall landscape leads to the poor connectivity of the overall landscape, affecting the landscape effect; The coastal landscape patches are few and the richness is not high, however, according to the survey, the surrounding tourism resources are abundant, so there is a lack of integrated development and utilization with marine ranching in Zhelin Bay, eastern Guangdong Province. In short, by analyzing the distribution and interaction of different landscapes in the pattern space of marine ranching landscape, this paper can provide data support for the next step of landscape ecological planning, and provide support for the development and utilization of marine ranching recreational fisheries and ecological landscape sustainable development, comprehensively enhancing the ecological, economic and social values of marine ranching.

**Key words:** marine ranching; landscape pattern; landscape elements feature; landscape heterogeneity; landscape ecological planning

**Corresponding author:** QIN Chuanxin. E-mail: qincx@scsfri.ac.cn

**Funding projects:** Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS(2019ZD1101, 2017YB04); National Natural Science Foundation of China(41206119); Special Fund for Agro-Scientific Research in the Public Interest (201003068)