

# 东海中、北部及黄海南部海域底层渔业生物多样性时空分布特征

刘勇\*, 程家骅

(中国水产科学研究院东海水产研究所,  
农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090)

**摘要:** 为研究和认识渔业生物群落结构和海洋生态系统在时间和空间上的变化特征和规律, 实验依据2000年4个季度大面积定点底拖网的调查数据, 利用海洋生态学研究常用的多样性指数, 采用聚类的分析方法和空间投射的图示方法, 对东海中、北部及黄海南部海域底层渔业生物多样性季节间的分布变化特征和规律进行了归纳, 探讨了生物数量和重量季节变化不统一的可能原因, 并分析了多样性与生物重量和数量之间的联系。结果显示, 各季站点均可分成多样性水平高、中、低3个类群, 各类群呈点、线和块状分布, 且呈现中心、夹层和外层分别由高、中、低多样性类群构成的“三明治”结构或组合。各季“三明治”结构分布可能与渔业资源的生理周期洄游活动相关, 结构中心水域可能对应多数渔业生物洄游活动主要范围。各季均出现高、低多样性类群直接相联、多样性呈现空间上跳跃性变化的水域, 这些水域的资源生物量普遍相对较低, 但一般都是毗邻生物量相对较高水域, 其分布范围与毗邻相对高生物量水域的绝对生物量水平呈负向关系。春、冬季各类群对应生物平均重量和数量等级一致, 而夏、秋季则不一致, 这可能与各季渔业生物产卵、生长、补充等不同生命周期过程相关。不管重量还是尾数, 多样性指数随生物量增加而下降的情形均多于增加的情形; 多样性指数随生物尾数增加的正向关系明显高于与生物重量之间的正向关系。

**关键词:** 底层渔业生物群落; 多样性; 时空分布; 东海; 黄海

**中图分类号:** S 931.1

**文献标志码:** A

生态系统或生物群落的结构组成会因外部环境因素的改变, 或者内部物质能量转换方式的更替而发生变化, 利用这种关联可以依据生态系统或生物群落结构组成的研究对其内部和外部的状态加以判断, 比如内部的稳定性、生产能力和外部的偶然事件、人为干预等<sup>[1]</sup>。多样性指数是描述生态系统或生物群落结构组成的一种简便、可行的方法, 在生态学中有着广泛的应用。描述生态系统或生物群落结构组成的多样性指数相当丰富<sup>[2-3]</sup>, 但在海洋生态学研究

中应用较多的还是比较常见的几种, 比如Shannon-Wiener指数、Margalef指数和Pielou指数<sup>[4-8]</sup>。本实验对东海区底层渔业生物群落的多样性指数分布特点、多样性指数类群和生物量类群的四季对应关系进行了初步研究, 以期为进一步生态系统或生物群落的深入研究奠定基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料来源

数据来自2000年东海区渔业资源春(4月)、

收稿日期: 2016-04-25 修回日期: 2016-09-27

资助项目: 农业部专项东海区海洋捕捞基础信息动态采集分析(2011-2015); 农业部专项中日暂定水域渔业资源调查(2011-2015); 公益性行业(农业)科研专项

通信作者: 刘勇, E-mail: liuy@ccsf.ca.cn

夏(6月)、秋(9月)、冬(12月)4次大面积定点调查。调查船为双拖渔轮,每艘功率为183.25 kW,网具为100目×4 m,网囊网目为2.5 cm,平均拖速为2 n mile/h。调查范围为27°00′~34°00′N,122°00′~127°00′E,经、纬度每隔30′设1个站位,格状均匀设置站位。由北至南分成A~F共6个区域,每个区域各20站位左右(图1)。调查、采样和样品分析方法均符合国标(GB/T 12763.6-2007)<sup>[9]</sup>中关于游泳动物调查的规范和要求。

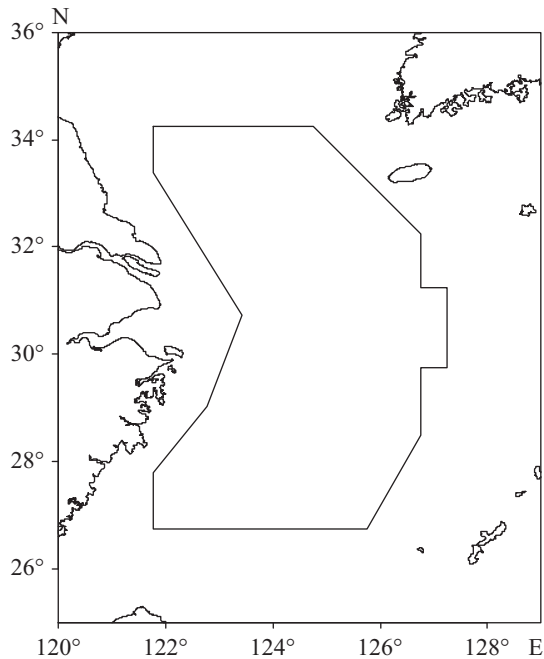


图1 研究水域范围示意图

Fig. 1 Illustration of the survey area

## 1.2 实验方法

**多样性指数计算方法** 鱼类群落多样性分析使用了Margalef丰富度、Shannon-Wiener多样度和Pielou均匀度这3种指数,具体计算方法详见下列公式<sup>[1-4]</sup>:

Margalef丰富度指数*D*:

$$D=(S-1)/\ln N$$

Shannon-Wiener多样度指数*H'*:

$$H'=-\sum P_i \cdot \ln P_i$$

Pielou均匀度指数*J'*:

$$J'=H'/\ln S$$

式中,*S*为物种数;*N*为总尾数;*P<sub>i</sub>*为第*i*种鱼所占的比例。*P<sub>i</sub>*既可用生物重量计算,也可用生物数量计算;本文两种方法均有计算,分别记作*H'*、*J'*和*H*、*J*。

**指数高、低值判别标准** 根据某季节各个调查站位的多样性指数计算其平均值和标准差(表1)。据统计理论,标准差能反映一个数据集的离散程度;在正态分布中,平均值加减一个标准差的范围,其所占比率为全部数值的68%<sup>[10]</sup>。本文把平均值加减一个标准差的数值作为一个区分指数高值区和低值区的界限,把高值和低值指数分布的范围描绘出来,就可以清楚地观察到指数相对高的区域和指数相对低的区域。

表1 四季多样性指数高、低值设定参数

Tab. 1 Parameters for setting the high and the low values of diversity indices of each season

参数 parameter		春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter
<i>S</i>	平均值 mean	18.12	15.7	21.41	19.57
	标准差 SD	7.59	8.41	9.45	8.25
<i>D</i>	平均值 mean	2.54	2.22	2.59	2.57
	标准差 SD	1.04	1.12	1.25	1.14
<i>H'</i>	平均值 mean	1.57	1.45	1.65	1.72
	标准差 SD	0.54	0.66	0.65	0.63
<i>J'</i>	平均值 mean	0.56	0.53	0.54	0.59
	标准差 SD	0.15	0.19	0.16	0.15
<i>H</i>	平均值 mean	1.51	1.43	1.76	1.56
	标准差 SD	0.57	0.66	0.72	0.6
<i>J</i>	平均值 mean	0.54	0.53	0.57	0.54
	标准差 SD	0.18	0.22	0.18	0.17

**数据统计分析方法** 聚类对象为各个站位对应的上述5种多样性指数(*D*、*H'*、*H*、*J'*和*J*)与物种数(*S*)及重量(g)、尾数组成的数据矩阵,聚类前需要对数据进行中心化处理。聚类方法采用的是系统聚类法(hierarchical clustering analysis),选择的聚类统计量是绝对值距离(manhattan),采用ward距离法<sup>[11]</sup>,具体计算过程是通过R统计软件<sup>[12]</sup>中amap工具包<sup>[13]</sup>内的hcluster函数实现。线性回归采用R软件自带的lm函数。

## 2 结果

### 2.1 渔获物多样性指数高、低值空间分布特征

渔获物种数*S*的四季分布特征与Margalef丰富度指数*D*比较相似(图2)。春季,在中部水域

出现较为明显的高值聚集, 前者范围相对小一些, 而后者稍大一些; 夏季, 二者在中部外海均出现较为明显的高值聚集, 差别是后者在中部外海偏南水域和近海水域分别有一块小范围的高值和低值聚集。秋季二者均在北部水域出现一个较大范围的低值聚集, 在南部水域出现多块明显的高值聚集。冬季二者在南部和北部水域出现较明显的低值聚集, 在南部外海水域出现明显的高值。

Shannon-Wiener多样性指数 $H'$ 的四季分布特征与Pielou均匀度指数 $J'$ 比较相近。春季和夏季, 除了均匀度指数 $J'$ 分别在长江口外海和近海水域有一块较大的低值外, 其余水域均没有出现明显的高、低值聚集。秋季, 二者在中部及南部水域均出现明显的低值聚集, 而多样性指数 $H'$ 相比 $J'$ 在北部水域多了部分低值聚集; 前都在中南部的近海水域有较明显的高值聚集, 而后者则不明显。冬季, 在中部和南部水域均出

现较为明显的低值聚集, 在这些低值水域的中间均出现了明显的高值聚集, 前者的聚集范围相比后者更为集中、范围更大。

基于个体数量计算的多样性指数 $H$ 四季分布特征与均匀度指数 $J$ 比较相近。春季, 二者在中南部水域出现较为明显的低值聚集, 其余水域除个别小的高值聚集外, 没有明显的高、低值聚集水域。夏季二者差别稍微大一些, 前者没有出现明显的高、低值聚集水域, 而后者在中部及南部近海水域出现一定范围低值聚集, 且在南部部分水域出现小范围高值聚集。秋季二者分布比较一致, 在北部和南部水域均出现较大范围的低值聚集, 而在中南部近海水域均出现一块明显的高值聚集。冬季, 后者仅在中南部近海出现一块明显的低值聚集, 其余水域没有明显的低值和高值聚集; 而前者除中南部近海水域, 在北部和南部水域均有明显的低值聚集, 且在中南部外海水域出现明显的高值聚集。

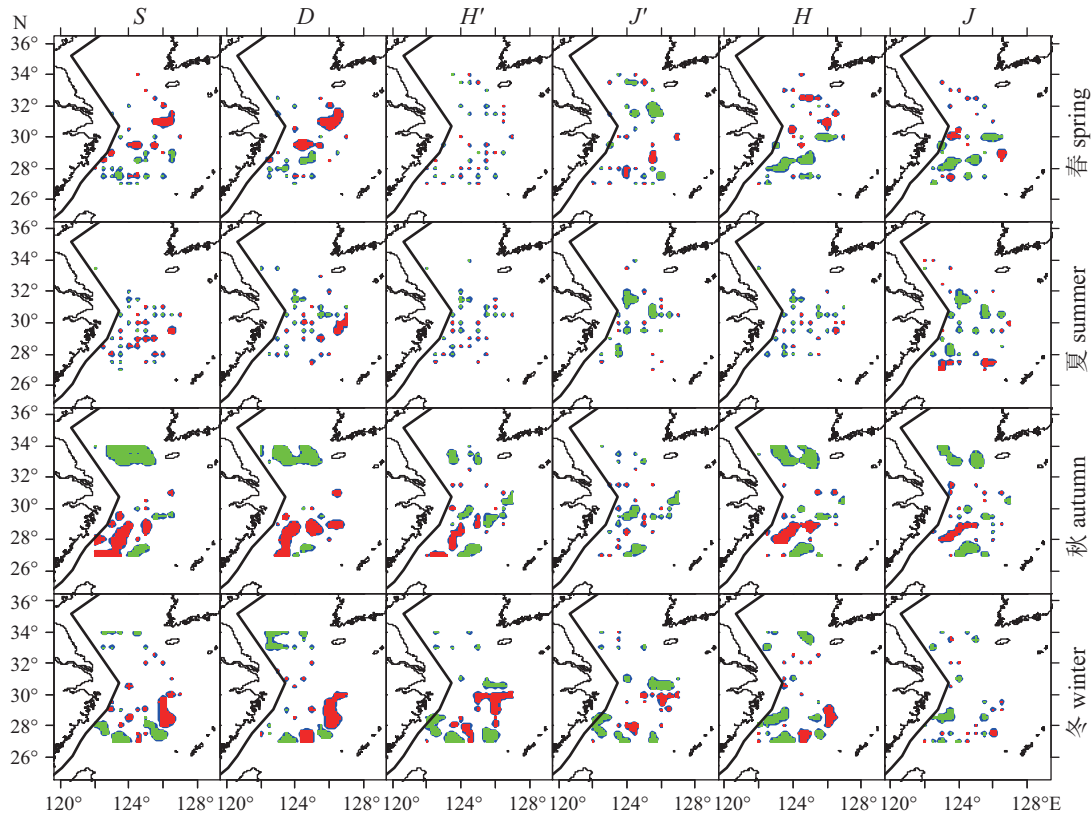


图2 多样性指数高、低值分布特征

红色为高值水域; 绿色为低值水域

Fig. 2 Distribution characteristics of the high and the low values of biodiversity indices

Red means high value of biodiversity index; green means low value of biodiversity index

### 2.2 多样性指数聚类分析

春季分析结果3个群 春季各调查站位的多样性指数及生物量参数有着显著的差别(图3)。类群I的特征是生物质量及数量较低,而多样性指数较高(除J最大值落在类群II),为便于叙述,下文简称其为“高指低量组”;类群III的特征则相反,即生物质量及数量较高,而多样性指数较低,同样简称其为“低指高量组”;类群II的特征则介于上述两组群之间,简称其为“中指中量组”。类群II(居中组)的站位数比例最高,类群

III(低指高量组)的站位数比例处于平均水平,类群I(高指低量组)的站位数比例较低(表2)。

多样性指数聚类分析结果 对夏、秋和冬季进行了多样性指数聚类分析,也各得到3个明显的类群。各个季节3个类群的多样性指数均可以划分为高、中、低3档。各类群的生物量参数之间及其与多样性指数之间没有稳定的大小匹配关系(表3)。一方面,某些季节中生物重量与尾数大小是相互对应的,如春季的各组,夏季的I组,秋季的III组和冬季的各组;而夏季的

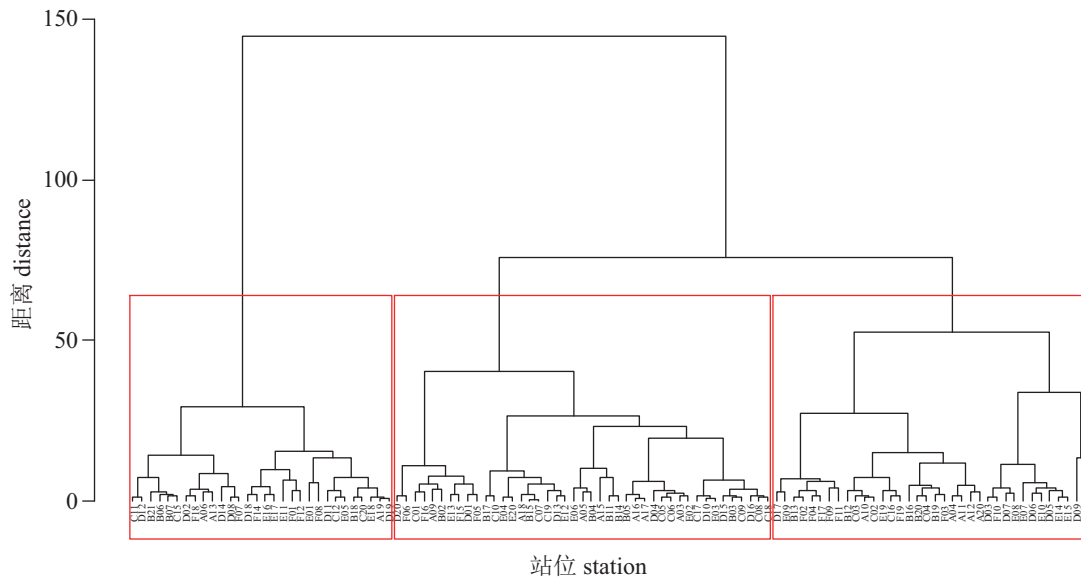


图 3 春季多样性指数聚类结果

Fig. 3 Clustering dendrogram of spring diversity indices

表 2 春季多样性指数聚类分组特征

Tab. 2 Characteristics of diversity index clustering groups in spring

组别 group	参数 parameter	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>H'</i>	<i>J</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	重量/g weight	尾数 individual	站位比 proportion
分组I group I	平均值 mean	<b>26.27</b>	<b>3.5905</b>	<b>2.2431</b>	<b>0.6937</b>	<b>1.8944</b>	0.5831	<u>13 639</u>	<u>1684</u>	0.28
	最大值 max	36.00	5.6653	2.8672	0.8810	2.6209	0.7731	46 531	5274	
	最小值 min	17.00	1.8669	1.4807	0.4354	0.6596	0.1939	1979	126	
分组II group II	平均值 mean	17.07	2.4739	1.5270	0.5663	1.6696	<b>0.6201</b>	16 522	1286	0.39
	最大值 max	32.00	4.7198	2.0678	0.7822	2.2959	0.9602	83 927	8064	
	最小值 min	3.00	1.1371	0.7675	0.3954	1.0549	0.4005	510	5	
分组III group III	平均值 mean	<u>12.58</u>	<u>1.7391</u>	<u>1.0691</u>	<u>0.4367</u>	<u>1.0127</u>	<u>0.4079</u>	<b>20 825</b>	<b>2536</b>	0.33
	最大值 max	21.00	3.0659	1.6935	0.7355	1.9702	0.7929	119 426	35 949	
	最小值 min	4.00	0.5930	0.4152	0.2005	0.1168	0.0531	1321	23	

注: 黑体指示组间最大值; 下划线指示组间最小值, 下同

Notes: Bold number indicates the maximum value of groups; underlined number indicates the minimum value, the same below

表 3 四季多样性指数聚类分组特征

Tab. 3 Characteristics of diversity index clustering groups of each season

季节 season	组别 group	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>H'</i>	<i>J'</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	重量 weight	尾数 individual	站位比 proportion
春季 spring	I	<b>26</b>	<b>3.5905</b>	<b>2.2431</b>	<b>0.6937</b>	<b>1.8944</b>	0.5831	<u>13 639</u>	<u>1684</u>	0.28
	II	17	2.4739	1.5270	0.5663	1.6696	<b>0.6201</b>	16 522	1286	0.39
	III	<u>13</u>	<u>1.7391</u>	<u>1.0691</u>	<u>0.4367</u>	<u>1.0127</u>	<u>0.4079</u>	<b>20 825</b>	<b>2536</b>	0.33
夏季 summer	I	<u>6</u>	<u>0.6459</u>	<u>0.3662</u>	<u>0.1936</u>	<u>0.3048</u>	<u>0.1623</u>	<b>131 600</b>	<b>9102</b>	0.16
	II	13	1.8806	1.2041	0.4823	1.2210	0.4881	19 412	<u>1659</u>	0.33
	III	<b>20</b>	<b>2.9284</b>	<b>1.9355</b>	<b>0.6616</b>	<b>1.9038</b>	<b>0.6641</b>	<u>14 991</u>	2062	0.51
秋季 autumn	I	<u>11</u>	<u>1.4809</u>	<u>0.8211</u>	<u>0.3588</u>	<u>0.8373</u>	<u>0.3509</u>	92 504	<u>2721</u>	0.26
	II	<b>30</b>	<b>3.6886</b>	<b>2.2559</b>	<b>0.6681</b>	<b>2.3980</b>	<b>0.7084</b>	<u>82 752</u>	4696	0.36
	III	21	2.3177	1.6546	0.5551	1.7953	0.6002	<b>249 429</b>	<b>13 841</b>	0.38
冬季 winter	I	<u>12</u>	<u>1.4853</u>	<u>1.0099</u>	<u>0.4205</u>	<u>0.9200</u>	<u>0.3889</u>	<b>75 297</b>	<b>6049</b>	0.29
	II	18	2.4591	1.7773	0.6255	1.5655	0.5554	<u>23 569</u>	<u>2153</u>	0.34
	III	<b>27</b>	<b>3.5939</b>	<b>2.2740</b>	<b>0.6924</b>	<b>2.0873</b>	<b>0.6355</b>	35 545	3869	0.37

II、III组和秋季的I、II组的生物重量与尾数的大小不一致。另一方面,多样性指数与生物量之间的大小搭配也不稳定,如春季的各个组、夏季的I组和冬季的I组均能遵循“指数高与生物量低、指数低与生物量高、指数中与生物量中”的规律;而其余季节中各组的多样性指数与生物量参数的对应关系均不符合上述规律。

### 2.3 多样性指数与生物量参数分群空间分布特征

4个季节的分群研究中,多样性指数均被分成高、中、低3个类群。春季,中多样性类群所占比例最高,而高多样性类群最低(表4),3种多样性类群分布相对均匀(图4)。夏季,高多样性类群所占比例最高,且主要分布在南部的外海水域;而低多样性类群比例最低,多数分布在南部的近海水域;中多样性类群占三分之一,多数分布在中北部水域。秋季,中多样性类群所占比例最高,但也仅比高多样性类群高2个百分点,2个类群多数集中在中部水域,而高多样性类群的分布更偏向南部;低多样性类群所占比例最低,且多数分布在南北两端。冬季,高多样性类群所占比例最高,主要分布在中部和南部水域;而低多样性类群最低,主要分布在北部和南部外海水域;全海域高、中、低多样性类群分布相对均匀。

表 4 四季多样性类群百分比

Tab. 4 Percentage of the three kinds of diversity index groups in each season

组群 group	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter
高多样性组 high diversity group	28	51	36	37
中多样性组 middle diversity group	39	33	38	34
低多样性组 low diversity group	33	16	26	29

## 3 讨论

### 3.1 渔获物多样性类群空间分布特征

多样性类群的“三明治”结构季节变化观察聚类分析得到的3个多样性类群空间分布特征,发现各类群主要有以下3种分布方式:一种是独立的点状分布,这种分布方式以低多样性类群出现的较多;还有一种是连续多点呈线状分布,这种分布方式以高、低多样性类群出现的较多;最后一种是多点呈块状分布,这种分布方式以中、高多样性类群出现的较多。四季多样性类群分布呈现出“三明治”结构特征(图5)。春季,低多样性类群以点状和线状方式把整个调查水域粗略地间隔成由北至南的4块水域,由北向南计数的第1、3块的中多样性指数类群均以块状分布,少数短线状高多样性类群镶嵌其中,形成外围是低多样性类群,中心是高多样

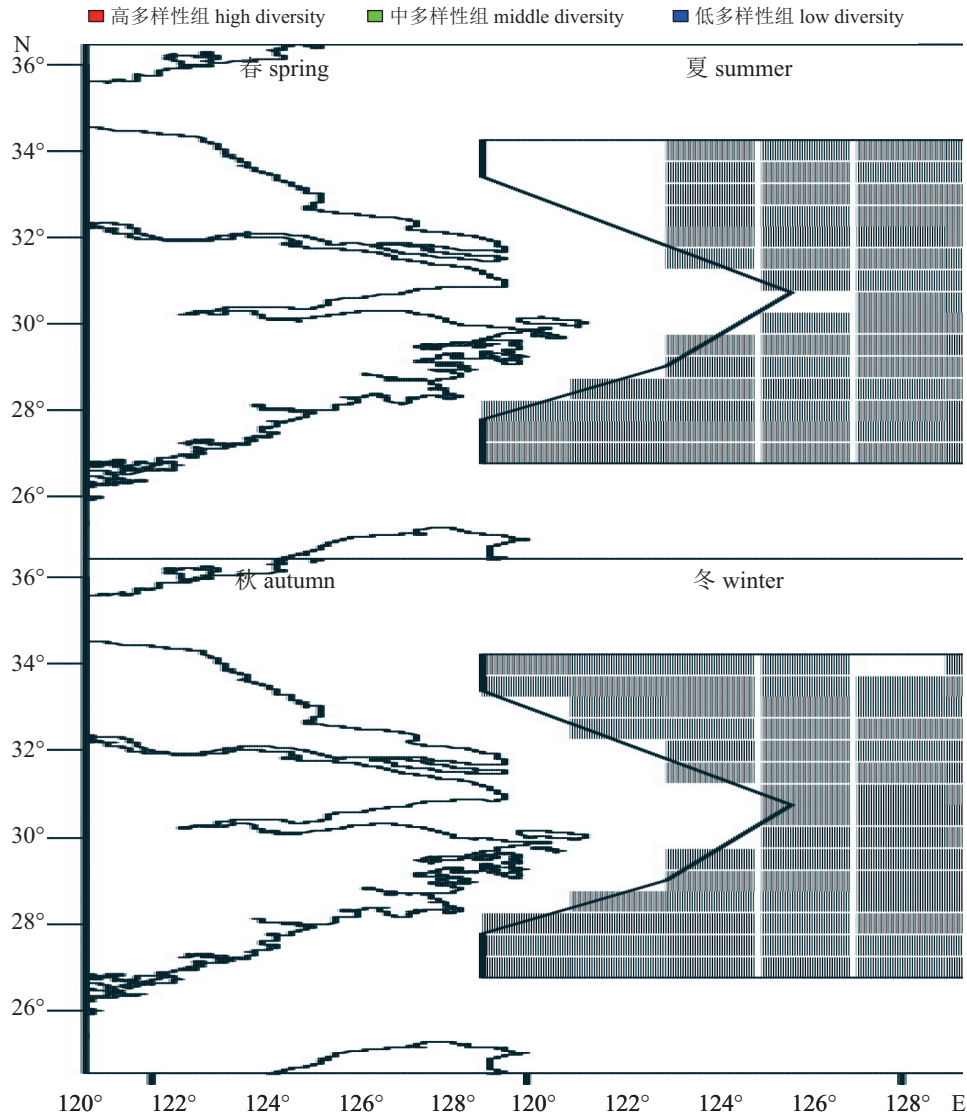


图 4 三种多样性指数群空间分布

Fig. 4 Distribution of three kinds of diversity index groups

性类群，中间是中多样性类群的“三明治”结构。第2块和第4块的高多样性夹心相对更丰富一些，与中多样性类群数量相当，形成不是很典型的三明治结构。夏季，低多样性类群主要以点状形式聚集分布在东海中南部水域，该水域明显把调查水域分隔成南北两块，南部水域以高多样性类群为主，中多样性类群为辅；北部水域则以中多样性类群为主，高多样性类群占少量比例；由于受调查范围所限，只能观察到2个“三明治”的部分结构。秋季，在调查水域南、北两端低多样性类群以点、线形式相对分布比较集中，而在中间水域，高多样性类群是以块状或线状形式分布，中多样性指数则多以线状形式围绕在高多样性类群周围，整个调查水域形成

一个比较完整的“三明治”结构。冬季类似于夏季，低多样性类群聚集在东海中南部水域，不同的是在调查水域的北部和南部的外海水域同样聚集了较多的低多样性类群，整个调查水域被分隔成2个“三明治”结构，但这2个“三明治”结构的范围相比夏季的要小许多，低多样性类群形成的外围结构基本上呈现出来；北部的结构范围比南部的大一些，北部的中多样性类群相对多一些，而高多样性类群则基本相当。

多样性空间分布的这种格局以及四季的变化，可能是受水文环境的影响而形成，更可能与渔业资源的生理变化周期直接相关。春季是多数渔业资源产卵繁殖的季节，在此期间产

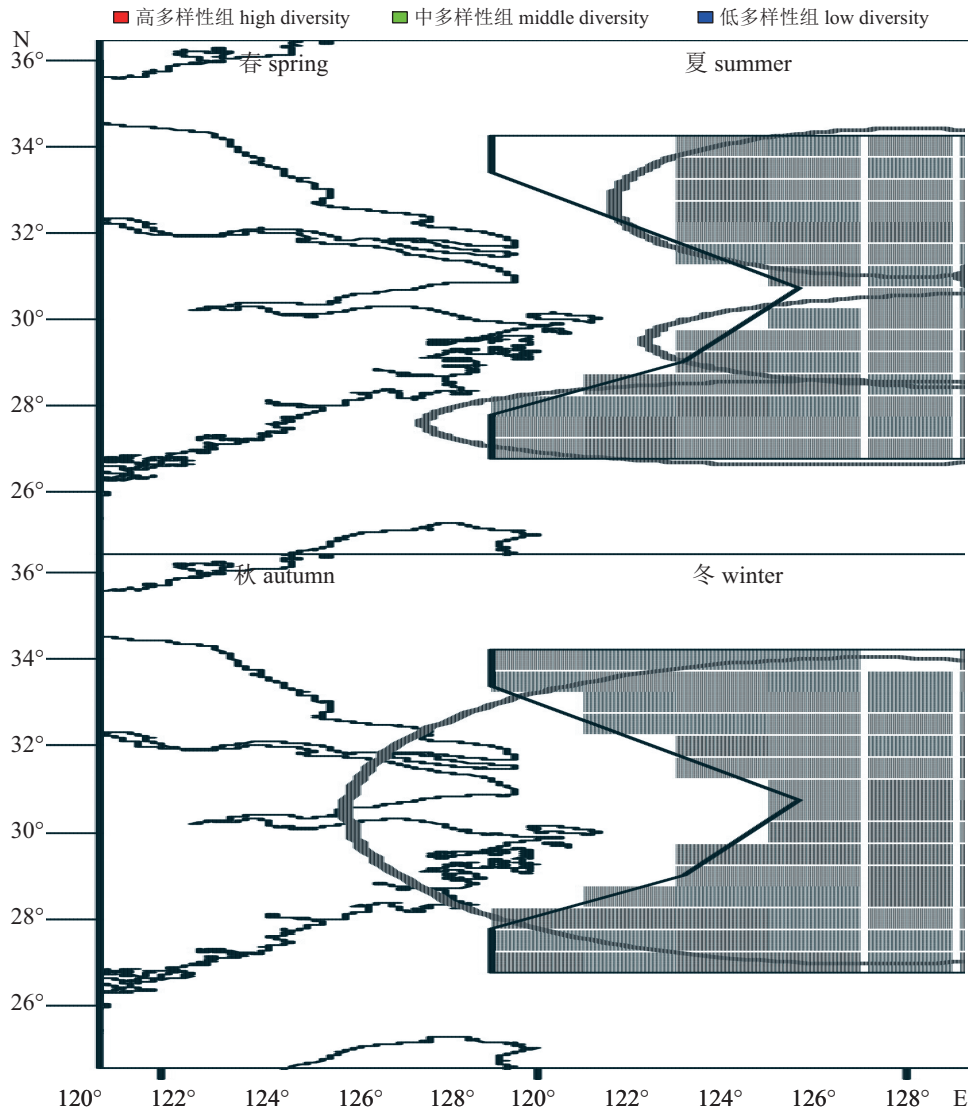


图 5 三种多样性指数群空间分布及“三明治”结构示意

Fig. 5 Distribution of three kinds of diversity index groups with illustration of “sandwich” structure

卵亲体一般都洄游到历史进化筛选出的、适合其繁殖的、相对稳定的水域进行繁殖, 这些水域正是管理部门尽力寻找、并极力保护的产卵场。产卵场的环境相对稳定、条件适宜, 利于亲体产卵及卵的存活, 这些水域吸引了许多即将产卵的亲体, 从而导致该水域的多样性增高。实验所分析的春季4个三明治结构的中心可能与这些亲体聚集水域相对应, 如第1块水域的高多样性中心处于吕四渔场长江口渔场附近, 历史调查发现吕四渔场是小黄鱼(*Larimichthys ployactis*)、大黄鱼(*L. crocea*)、银鲳(*Pampus argenteus*)和黄鲫(*Setipinna tenuifilis*)等重要产卵场<sup>[14-15]</sup>; 第2块水域高多样性中心处于江外渔场

和舟外渔场, 而第3块水域高多样性中心水域范围相对较小、在鱼山渔场和鱼外渔场的北侧偏外海水域, 这2块高多样性中心水域可以归并为外海高多样性水域, 有文献报导在江外渔场和舟外渔场存在小黄鱼的产卵场<sup>[16-17]</sup>; 第4块水域高多样性中心处于温台渔场和温外渔场, 历史调查结果显示温台渔场是绿鳍马面鲀(*Thamna-cdnus modeitus*)、鲈(*Scomber japonicus*)和舵鲹等外海型洄游鱼类的主要产卵场<sup>[14-15]</sup>。上述仅是现有研究结果的例证, 可能还有更多鱼种的产卵场是处于这4个高多样性的中心水域, 本研究结果可为将来其他鱼种产卵场的调查提供一定参考。夏季亲体产完卵开始进入索饵洄游, 本研

究划出2块高多样性水域可能对应东海区渔业资源的2块主要索饵水域。秋季对应当年补充群体进入渔场的时期,本研究结果中的高多样性水域可能是当年补充群体的育幼场。冬季是渔业资源的越冬洄游时期,研究结果划分的2块高多样性水域可能是东海区渔业资源的主要越冬场。上述推测可以从历史文献<sup>[14-15]</sup>中找到个别鱼种的相关例证。

#### 多样性类群空间跳跃性变化水域分布特征

空间异质变化一般呈连续性<sup>[18]</sup>,本实验中的高、中、低多样性3个类群应该遵循这样的规律,即3种类群的分布应该按照高→中→低,或者低→中→高这样的次序进行空间分布。本实验

结果却出现了高多样性类群与低多样性类群直接相连的情况(图4),且不是个别现象,所有季节均有出现,比如春季调查水域的中部外海和南部水域,夏季的中南部水域由近海至外海的片段水域,秋季的南部水域,冬季的中部偏南及南部外海水域,这显然违背了前述空间连续分布的自然规律。导致该结果的原因可能与研究尺度大小相关,若进一步缩小研究尺度,在高、低多样性之间也可能出现过渡的中多样性分布。但这种分布方式反映了多样性空间分布的跳跃性,即相近空间上的多样性变化速率较快。为了分析多样性变异较大水域的形成原因及相关因素,本研究单独提取出高多样性与低

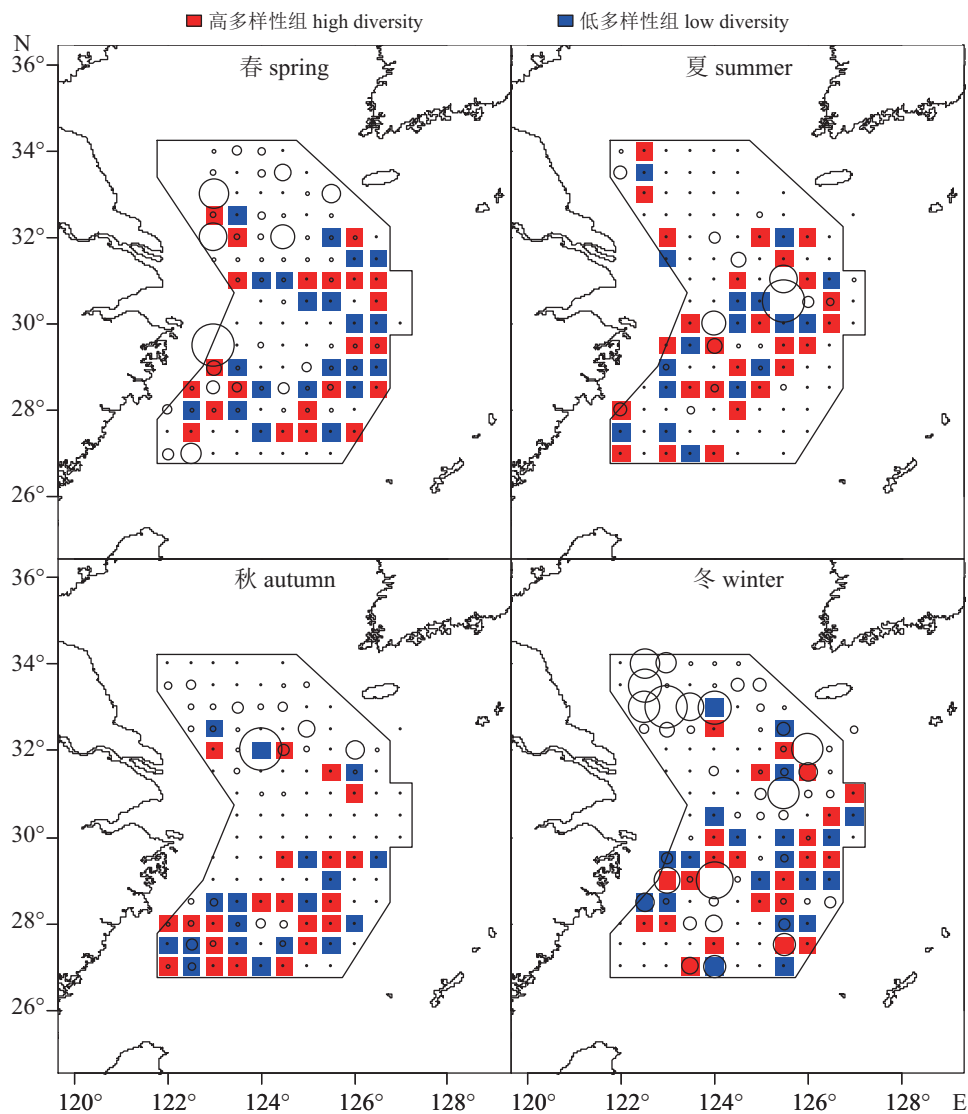


图6 多样性高变异水域和渔业资源量分布

Fig. 6 Distribution of the areas of high variation diversity and the fishery resources



多样性直接相连的样点(图6),并尝试叠加多种因子探讨这些多样性变异较大水域分布形成的原因。分析发现这些高变异水域与渔业资源总量(图6中大小圆圈对应各季渔业资源总量的相对高低)之间有一定联系,4个季节除了秋季和冬季的2个低多样性样点所在水域的渔业资源总量相比周围较高外,其他分离出来的多样性高变异水域均处于渔业资源总量相对较低的水域,可见在资源量相对较低水域多样性变化的跳跃性较高,这可能是由于总资源量较低的情况下,当各组成物种相对均衡时多样性会较高,而一旦某个物种生物量稍微增加就可能引起多样性的剧烈波动。然而并不是在所有资源量较低的水域都会出现多样性高变异水域,比如夏季的南部和北部大片低资源量水域,还有秋季的北部和中部;进一步观察会发现这些水域附近均有资源量相对周围较高的样点,另外资源量绝对值较高的样点周围的多样性高变异水域范围相对小一些,而绝对值较低的范围会大一些;这可能与一些优势物种的聚集程度相关,一些资源量较大的优势种聚集程度较高,其聚集范围相当集中,资源量向周围辐射较小,导致其资源优势影响周边低生物量样点多样性波动的范围较小;相反那些聚集度不高的优势种,其资源量的辐射范围却相对较大,从而给周边水域带来的多样性波动范围也相对较大。

### 3.2 渔获物多样性类群平均体型四季变化特征

重量与数量的等级一致,表明该季节中的渔获物个体的重量相对比较匀称,没有特别重的个体,也没有特别轻的个体,上述情况会导致个体数量与重量呈正比例关系,即重量与数量相匹配,从而重量与数量等级同步一致,本研究春季和冬季就是这样的情况。另外还有两种情况,即有较多重量偏大个体,会导致整体数量偏小;而重量偏小个体若占较多,则会导致整体数量偏大。前者对应夏季的第II组和秋季的第I组,后者对应夏季的第III组和秋季的第II组。基于上述分析,可以初步判断春季、冬季渔获物体型特征相对均匀,即没有较多的偏大或偏小个体,因而重量与数量在3个类群中的大小等级基本一致。而夏季和秋季,可能由于生物处于不同生理阶段(如产卵、索饵、幼体补充等)<sup>[19-20]</sup>,造成生物体型大小比例发生显著变化,从而导致重量与数量等级的不一致。

根据各多样性类群的平均体型(标准、偏瘦和偏胖)、个体均重(重量/尾数)和生物量(尾数×站位比例)绘制四季比较图(图7)。整体观察可以发现,除秋季外,其他季节都是以低多样性类群的生物量为最多,可见渔业资源主要还是来自少数优势种;而秋季的生物量主要来自当年的大量补充群体<sup>[21-22]</sup>,其中包括了优势种和非优势种,优势种很可能也占据了主要份额。各个季节生物量最多类群的平均体型均是标准的,可以推测主体生物资源是一个体型相对均匀的群体,或大或小的个体数量相对较少。而不标准的体型仅出现在夏季和秋季,这个时间段是当年生个体逐步补充入捕捞群体的阶段;夏季补充的是小部分产卵期相对较早的群体,而秋季的补充群体则是当年捕捞群体的主要补充来源<sup>[23]</sup>。由于个体相对较小补充群体的加入,带来了夏、秋季平均体型的变化;个体小拉低了平均个体重量,从而导致平均体型的偏瘦,夏、秋季中高多样性类群偏瘦的体型可能是由此造成。秋季偏胖的低多样性类群,根据其较高的个体均重判断,可能是由剩余不多、个体较大的当年产卵亲体组成,该群体在春季产卵结束后开始进入索饵洄游,经过几个月的摄食补给,个体体型均较肥满。夏季偏胖的中多样性类群可能是未产卵的亲体,产卵前的个体为

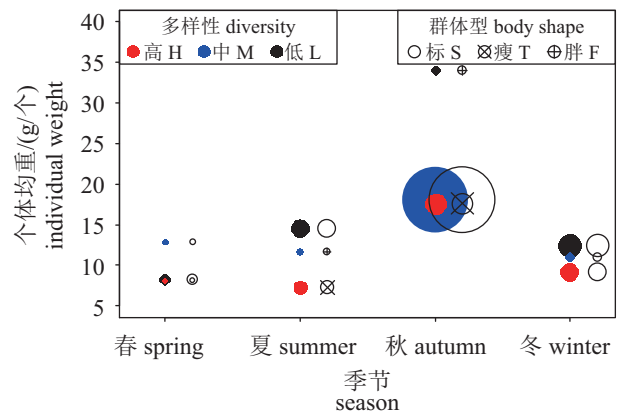


图7 四季各类群多样性、平均体型及生物量的变化  
图标的大小与生物个体数量的大小成正比。图中H指高多样性, M指中多样性, L指低多样性; S指标准体型, T指瘦体型, F指胖体型

Fig. 7 Seasonal change of diversity and body shape

The size of the symbol is proportional to the individuals. H means high diversity, M means middle diversity, L means low diversity; S means standard shape, T means thin shape, F means fat shape

了保证下一代有足够的营养，其体型往往偏胖；另外也可能包括少量推迟产卵或跳过产卵处于自我吸收阶段的个体<sup>[16, 24]</sup>，这些个体的体型也会偏胖。上述相关现象的解释均为简单推测，具体实际情况还需要细致深入的研究来加以证实。

### 3.3 渔获物多样性与渔获量之间的联系

除秋季高生物量对应的是中多样性外，其余季节的高生物量均对应低多样性。可见高生物量水域对应的往往是多样性偏低。生物量较高水域往往是由品种相对较少的优势种构成，从而导致该水域的多样性较低。秋季的高生物量类群主要是由当年的补充个体组成，虽然其中有较大比例来自优势种，但非优势种的补充个体也占有一定的比例，从而使本季高生物量类群的物种丰富了不少，多样性也被提高至中等。相反生物量较低水域，对应的往往不是较低多样性，多数是多样性较高水域，比如春季低生物量对应着高多样性，冬季的低生物量对应着中多样性。另外，在上节中提到的夏季和秋季出现了重量与数量等级不同步现象，即中等重量对应低等数量(中重低数)和低等重量对应中等数量(低重中数)，低重中数水域均是对应高多样性，如夏季第III组和秋季第II组(表3)；而中重低数水域对应的多样性则相对较低，如秋季第I组对应的是低多样性，夏季第II组对应的是中多样性。总结上述现象有如下趋势，生物的重量与生物多样性不是正向关系，重量高的对应

的多样性不一定高；而生物的数量与多样性更倾向于正向关系，数量增多有利于多样性提高。

考虑季节之间群落组成及生物量差异较大，环境条件变化明显，难以在同一条件下进行比较，因此仅对同一季节进行各个多样性类群之间的比较。四季中各多样性类群间多样性指数变化与重量和尾数的关系，点代表对应季节的多样性类群的 $H'$ 值和重量，一个季节有3个点对应高、中、低多样性类群，两点连线的斜率表示重量变化与 $H'$ 值变化之间的关系，正值表示重量与 $H'$ 值正相关，反之亦然。图8-a右下角统计的是各季节出现的正负关系次数。所有多样性指数分别与重量和尾数之间关系的统计结果如表5所示。可以看到不管是重量还是尾数，多样性指数随生物量增加出现下降情形均多于增加情形(图8-b)，也就是说多数生物量增加的情况并不是因为物种数量的增加，而很有可能是因个别优势种的生物量增加而导致的，从而导致物种的均匀性下降、以至生物多样性下降<sup>[25-26]</sup>。另外也可以看到，多样性指数随生物尾数增加而形成的正向关系明显高于与生物重量的正向关系，这与之前观察的结果是一致的，即与生物重量相比生物数量与多样性更倾向于正向关系；生物数量的增加可能更多情况是因为物种数量的增加而导致，从而带来多样性的增加；而生物重量的增加多数情况是因为优势物种的优势度继续扩大，从而带来多样性的降低。

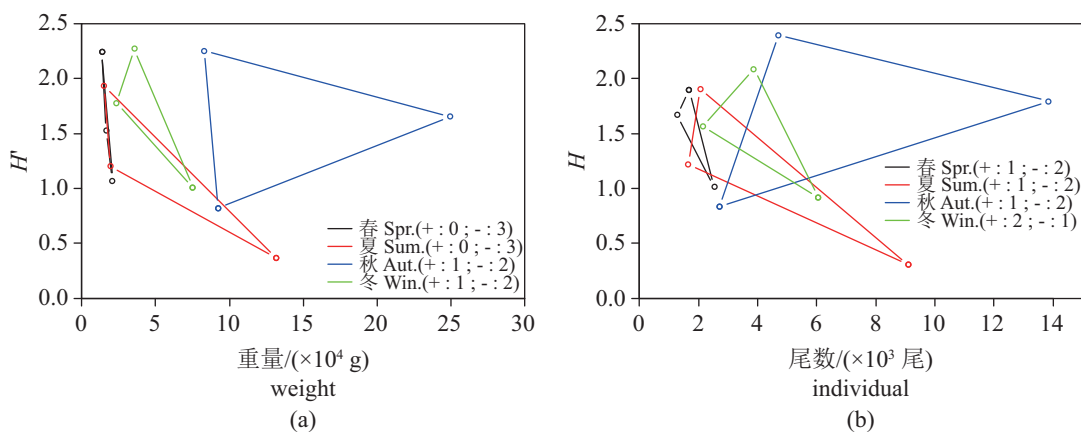


图8 多样性指数与生物量相关统计示例

Fig. 8 Illustration for calculation of the relationship between diversity indices and biomass

表5 多样性指数与生物量相关统计结果

Tab. 5 Statistics of the relationship between diversity indices and biomass

多样性指数 diversity	重量 weight		尾数 individual	
	正相关 positive	负相关 negative	正相关 positive	负相关 negative
<i>S</i>	2	10	5	7
<i>D</i>	2	10	5	7
<i>H'</i>	2	10	5	7
<i>J'</i>	2	10	5	7
<i>H</i>	2	10	5	7
<i>J</i>	3	9	4	8

## 参考文献:

- [1] 李冠国. 多样性指数的应用[J]. 海洋科学, 1981, 5(2): 4-8.  
Li G G. Application of diversity index[J]. Marine Sciences, 1981, 5(2): 4-8(in Chinese).
- [2] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I  $\alpha$ 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.  
Ma K P, Liu Y M. Method of diversity measurement for biological community: I alpha diversity measurement method (2nd part)[J]. Chinese biodiversity, 1994, 2(4): 231-239(in Chinese).
- [3] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I  $\alpha$ 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.  
Ma K P. Method of diversity measurement for biological community: I alpha diversity measurement method (1st part)[J]. Chinese biodiversity, 1994, 2(3): 162-168(in Chinese).
- [4] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 62-75.  
Sun J, Liu D Y. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(1): 62-75(in Chinese).
- [5] 刘勇, 李圣法, 程家骅. 东海、黄海鱼类群落结构的季节变化研究[J]. 海洋学报, 2006, 28(4): 108-114.  
Liu Y, Li S F, Cheng J H. A study on seasonal changes of the fish communities in the East China Sea and the Huanghai Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 28(4): 108-114(in Chinese).
- [6] 刘勇, 李圣法, 陈学刚, 等. 东、黄海2000年冬季底层鱼类群落结构及其多样性[J]. 海洋科学, 2007, 31(10): 19-24.  
Liu Y, Li S F, Chen X G, et al. The structure and diversity of demersal fish communities in winter 2000 in the East China Sea and the Yellow Sea[J]. Marine Sciences, 2007, 31(10): 19-24(in Chinese).
- [7] 程济生. 东、黄海冬季底层鱼类群落结构及其多样性[J]. 海洋水产研究, 2000, 21(3): 1-8.  
Cheng J S. The structure and diversity of demersal fish communities in winter in the east China Sea and the Yellow Sea[J]. Marine Fisheries Research, 2000, 21(3): 1-8(in Chinese).
- [8] 李建生, 李圣法, 程家骅. 长江口渔场鱼类组成和多样性[J]. 海洋渔业, 2006, 28(1): 37-41.  
Li J S, Li S F, Cheng J H. The composition and diversity of fishes on fishing grounds of Changjiang estuary[J]. Marine Fisheries, 2006, 28(1): 37-41(in Chinese).
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763. 9-2007 海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763. 9-2007 Code of marine survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2008(in Chinese).
- [10] 李春喜, 王志和, 王文林. 生物统计学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.  
Li C X, Wang Z H, Wang W L. Biostatistics[M]. Beijing: Science Press, 2000(in Chinese).
- [11] 王斌会. 多元统计分析及R语言建模[M]. 广州: 暨南大学出版社, 2014.  
Wang B H. Multivariate statistical analysis and modeling for R language[M]. Guangzhou: Jinan University Press, 2014(in Chinese).
- [12] R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing[CP/OL]. (2013-03-30). <http://www.r-project.org>.
- [13] Lucas A, Jasson S. Using amap and ctc Packages for Huge Clustering[J]. The Newsletter of the R Project, 2006, 6(5): 58-60.
- [14] 农牧渔业部水产局, 农牧渔业部东海区渔业指挥部. 东海区渔业资源调查和区划[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987.

- Ministry of Agriculture, Fisheries and Fisheries and Fisheries Command, Donghai District, Ministry of Agriculture. Investigation and zoning of fishery resources in the East China Sea[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1987(in Chinese).
- [15] 邓景耀, 赵传网. 海洋渔业生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- Deng J Y, Zhao C Y. Marine Fisheries Biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991(in Chinese).
- [16] 刘勇, 程家骅. 小黄鱼*Larimichthys polyactis*体长-体重关系幂指数与产卵群体空间分布相关性研究[J]. 海洋学报, 2014, 36(6): 124-130.
- Liu Y, Cheng J H. Study on the correlation between spatial distributions of the spawning groups and the power b in length-weight relation function of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*)[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 36(6): 124-130(in Chinese).
- [17] 刘勇, 严利平, 程家骅. 2003年东海北部和黄海南部外海小黄鱼产卵群体的分布特征及其与水温、盐度的关系[J]. 中国水产科学, 2007, 14(z1): 89-96.
- Liu Y, Yan L P, Cheng J H. Distribution of small yellow croaker's spawner stocks and its relationship with seawater temperature and salinity in the open sea of north East China Sea and south Yellow Sea in 2003[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(z1): 89-96(in Chinese).
- [18] Diggle P J, Ribeiro J P J. Model-based Geostatistics[M]. New York: Springer, 2007.
- [19] 陈大刚. 渔业资源生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- Chen D G. Fishery resources biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997(in Chinese).
- [20] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- Yin M C. Fish ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995(in Chinese).
- [21] 刘尊雷, 袁兴伟, 杨林林, 等. 亲体量和环境对东海小黄鱼补充成功率的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(2): 588-600.
- Liu Z L, Yuan X W, Yang L L, *et al.* Effect of stock abundance and environmental factors on the recruitment success of small yellow croaker in the East China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(2): 588-600(in Chinese).
- [22] 程家骅, 林龙山, 凌建忠, 等. 东海区小黄鱼伏季休渔效果及其资源合理利用探讨[J]. 中国水产科学, 2004, 11(6): 554-560.
- Cheng J H, Lin L S, Ling J Z, *et al.* Effects of summer close season and rational utilization on redlip croaker (*Larimichthys polyactis* Bleeker) resource in the East China Sea Region[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(6): 554-560(in Chinese).
- [23] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- Zhan B Y. Fishery resources assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995(in Chinese).
- [24] Rideout R M, Rose G A, Burton M P. Skipped spawning in female iteroparous fishes[J]. Fish and Fisheries, 2005, 6(1): 50-72.
- [25] 王永繁, 余世孝, 刘蔚秋. 物种多样性指数及其分形分析[J]. 植物生态学报, 2002, 26(4): 391-395.
- Wang Y F, Yu S X, Liu W Q. A new species diversity index and its fractal analysis[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(4): 391-395(in Chinese).
- [26] 王寿兵. 对传统生物多样性指数的质疑[J]. 复旦学报(自然科学版), 2003, 42(6): 867-868.
- Wang S B. Data mining research in the synthesis database of Microporous Crystals[J]. Journal of Fudan University (Natural Science Edition), 2003, 42(6): 867-868(in Chinese).

## Temporal and spatial distribution of bottom fishery biodiversity in the middle and north of the East China Sea and the south of the Yellow Sea

LIU Yong\*, CHENG Jiahua

(Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** The structural composition of an ecosystem or biological community will change as a result of changes in the external environment, or the change in the manner of conversion between internal matter and energy. According to the study of the structure composition of ecosystem or biological community, this association can be used to analyze the internal and external state. The diversity index is a simple and feasible method to describe the composition of the ecosystem or biological community, and has been widely used in ecology. In order to study and understand the structure changes of fishery community structure and marine ecosystem in time and space, this paper, based on the survey data of four-quarter fixed-point bottom trawl in 2000, using the Shannon-Wiener, Margalef and Pielou indices which were commonly used in marine ecology researches, adopted the clustering analysis method and the spatial projection method to describe and summarize the distribution and variation of seasonal fishery biodiversity in the middle and north of the East China Sea and the southern part of the Yellow Sea, and discussed the possible causes of seasonal variation in the number and weight of organisms, and analyzed the association between diversity and biomass weight and quantity. The results showed that the sites in each season could be divided into three groups with high, middle and low diversity. The distribution of each group was in the shape of point, line and block. The combination of groups is analogous to a “sandwich” structure with the center, interlayer and outer layer corresponding to high, medium and low diversity. The distribution of the “sandwich” structure in each season may be related to the physiological cycle migration of fishery resources. The center waters of the structure may correspond to the main range of most fishery biological migration. For example, the centers of four “sandwich” structures in spring correspond to the spawning grounds for *Pseudosciaena polyactis*, *Larimichthys crocea*, *Pampus argenteus*, *Setipinna taty*, *Thamnaconus septentrionalis*, *Scomber japonicus*, *Auxis rochei*, etc.. The center of “sandwich” structures in summer, autumn and winter may correspond to the main feeding, fostering and overwintering grounds of fishery organisms. There were waters in all seasons with high and low diversity groups connected directly, and the diversities showed the spatially skipped-changing. The resource biomass of these waters was generally relatively low. In the waters with low total resources, species diversity will be high when the species is relatively balanced, and once a species of biomass is slightly increased it may lead to drastic fluctuations in diversity. It was also found that these waters are generally adjacent to the relatively high biomass waters, and the range of the waters was negatively related to the absolute biomass of the relative high biomass waters. It might be related to the aggregation degree of some dominant species. The dominant species with higher biomass had higher aggregation degree, and the aggregation range and influence were relatively small. The smaller the influence sphere of the dominant species, the smaller the range of fluctuation of the diversity of the surrounding low-biomass samples. On the contrary, the dominant species with low aggregation degree, but its influence sphere is relatively large, and the range of fluctuation of the diversity of the surrounding low-biomass samples is large. The average weight and number of species in spring and winter are consistent, but not in summer and autumn. This may be related to different life cycle processes such as spawning, growth and recruitment. The

fish body of the main fishery resources in each season is a relative standard, and number of relatively large or small individuals is relatively few. Non-standard body size only occurs in the summer and autumn, which might be due to the gradual increasing of the recruitment of fishing populations. A relatively small number of recruitment comes from some earlier spawning groups in summer, while main of the recruitment of the year comes in the fall. As a result of recruiting, the lean body appears in the highly diverse groups of summer and autumn. The overweight body in the middle and high diversity groups of summer might be because of the non-spawning broodstocks, whose body was always fat to ensure the next generation with enough nutrition. They also might include a small number of delayed spawning, or skipped-spawning fish in the stage of self-absorption, which were always with fat body. Regardless of weight or mantissa, the cases that diversity index decreased with the increase of biomass were more than the cases that diversity index increased with the increase of biomass. Most of the increase in biomass was not because of the increase in the number of species, but was likely to be due to the increase of biomass of very few dominant species, resulting in a decrease in the homogeneity of species and a decline in biodiversity. The positive association of diversity indices with mantissa was significantly higher than the positive relationship with weight, probably due to the increase in the number of organisms in most cases were due to the increase in the number of species resulting in higher diversity, while the increase of weight was mostly because the dominant species continued to expand, leading to the decrease of diversity.

**Key words:** bottom fishery biological community; diversity; spatial and temporal distribution; East China Sea; Yellow Sea

**Corresponding author:** LIU Yong. E-mail: liuy@ecsf.ca.cn

**Funding projects:** Ministry of Agriculture Special Project: Dynamic Collection and Analysis of Marine Fishing Basics in the East China Sea (2011-2015); Ministry of Agriculture Special Project: Investigation on Fishery Resources in the Tentative Waters of China and Japan (2011-2015); Special Fund for Agro-Scientific Research in the Public Interest