

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.17387

## 海州湾方氏云鲷体长与体重分布特征及其关系

栾静<sup>1</sup>, 徐宾铎<sup>1</sup>, 薛莹<sup>1</sup>, 任一平<sup>1,2</sup>, 张崇良<sup>1</sup>

1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266003

**摘要:** 体长、体重是鱼类种群的基本生物学特征, 能够反映鱼类个体生理状态以及所处环境条件的变化, 但在实际研究中其时空变化往往被忽略。本文根据 2011—2016 年春、秋季海州湾 8 个航次的渔业资源底拖网调查数据, 研究了方氏云鲷(*Pholis fangi*)的体长组成、体重组成, 体长-体重关系和肥满度特征, 并分析了上述指标的时空异质性。结果表明, 海州湾方氏云鲷的群体有多个年龄组, 体长、体重和体长-体重关系参数  $a$ 、 $b$  及肥满度在时空上均有较大波动, 且在年间差异显著。秋季各航次平均体长、体重呈现逐年增大趋势; 肥满度的季节差异要大于年间差异, 春季肥满度小于秋季; 体长和肥满度在海州湾分布均是西南部大于东北部, 但秋季肥满度分布则与此相反。调查的方氏云鲷群体基本符合正异速生长类型。体长体重特征的时空异质性可能与气候、摄食强度、性成熟比例与捕捞压力等有关, 并在一定程度上反映了渔业生态系统和栖息地特征。相关研究应充分考虑体长、体重关系参数的时空变化, 以为渔业资源评估提供精确参数。

**关键词:** 方氏云鲷; 体长分布; 体重分布; 体长-体重关系; 肥满度; 时空异质性

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)06-1323-09

海州湾是位于黄海中部的沿岸开放型海湾, 海域初级生产力较高, 是很多鱼类和无脊椎动物的产卵场和索饵场<sup>[1-2]</sup>。而由于近十几年捕捞强度增大、环境恶化以及海岸带开发面积增加, 致使海州湾鱼类栖息地减少, 海洋生态系统破坏, 在一定程度上也导致了鱼类多样性降低和资源的衰退<sup>[3]</sup>。相关研究指出海州湾生态系统的种类组成发生了较大变化, 以方氏云鲷(*Pholis fangi*)为代表的小型鱼类成为本海域的主要优势种<sup>[1, 4]</sup>。方氏云鲷属于鲈形目(Perciformes), 锦鲷科(Pholididae), 云鲷属<sup>[5]</sup>, 为近岸集群性小型底层冷温性鱼类, 在黄渤海沿岸能形成汛期<sup>[6]</sup>, 近几年底拖网调查发现其在海州湾地区的优势种地位逐年升高。作为资源量不断增加的饵料鱼种, 方氏云鲷在黄海食物网及生态系统中的地位也越来越重要。研究其基本生物学特征, 对评估该鱼种的资源量以及

研究近岸食物网动态具有重要意义。

体长、体重是鱼类种群的基本生物学特征, 能够反映鱼类个体生理状态以及种群结构的变化<sup>[7]</sup>, 也是鱼类适应环境变化的重要生活史特征<sup>[8]</sup>。营养级较高的经济鱼种体长、体重特征研究已有较多相关报道, 而方氏云鲷等饵料鱼类的研究较少。国内对方氏云鲷的研究主要涉及形态、摄食、遗传组成、繁殖生物学、死亡率参数估算以及栖息地分布<sup>[6, 9-13]</sup>。需要指出的是, 一些生物学特征的时空变化包含丰富的生态学信息, 例如个体大小在年间变化和空间分布的差异可能反映了渔业生态系统特征发生变化。此外, 一些种群评估需要体长-体重等相关参数, 若这些参数具有显著的时空一致性可能会对评估精确性产生影响。本文研究了方氏云鲷体长、体重组成特征, 以及体长体重关系和肥满度, 分析了这些特征参数在年

收稿日期: 2017-03-22; 修订日期: 2017-03-28.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(201612002, 201512002).

作者简介: 栾静(1993-), 女, 硕士研究生, 主要从事渔业资源的研究. E-mail: lj\_199308@126.com

通信作者: 张崇良, 副教授. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn

际、季节和空间分布上的差异性以及变化趋势,以期为海州湾渔业资源的保护利用提供数据参考<sup>[12]</sup>,并为渔业生态系统评估提供基本参数。

1 材料与方法

1.1 数据来源

方氏云鳎的生物学数据来自 2011–2016 年,其中包括 2011、2013、2014 年春秋两季以及 2015 年秋季和 2016 年春季共 8 个航次于海州湾及其邻近海域进行的渔业资源底拖网调查,调查海域范围为 119°20′~121°10′E、34°20′~35°40′N。采用分层随机取样的方法设计调查站位,根据海州湾不同海域水深和底质类型等因素的差异,将调查海域分为 A、B、C、D、E 5 个区域(图 1),在每个区域内随机选取一定数量的站位进行调查(每 10′×10′的方格内设置一个站位)。其中,2011 年各航次分别在 A 区选取 3 个,B 区 5 个,C 区 3 个,D 区 9 个,E 区 4 个,共 24 个调查站位。其他年份各航次在 A 区选取 2 个,B 区 4 个,C 区 2 个,D 区 7 个,E 区 3 个,共 18 个调查站位。调查用船为 220 kW 的单拖渔船,拖速为 2~3 kn。每个调查站位拖网时间约为 1 h,调查网具的网口宽度约为 25 m,囊网网目 17 mm。渔获样品带回实验室分析处理。样

品处理和环境因子测定等均按照《海洋调查规范》进行。每个站位随机取 30 尾样品测量方氏云鳎的体长体重,不足 30 尾则全取,各航次样品测定数量见表 1。底层水温由 CTD 温盐深仪测定。

1.2 数据处理与分析

1.2.1 体长、体重组成的时空变化 根据生物学测定数据分析方氏云鳎在各个航次体长、体重频率分布并绘制体长频率曲线图。估算方氏云鳎的体长、体重的均值、中位数、变异系数等参数。变异系数是衡量群体内个体间生长整齐度的指标。当饵料充足、生长环境适宜时,群体中个体生长互不影响,生长速度差异小,个体的体长、体重有较高的一致性,变异系数值小。

使用 Shapiro 方法检验体长频率分布是否为正态分布<sup>[14]</sup>。分析体长、体重的年间差异,使用方差分析<sup>[14]</sup>检验其差异显著性;两两年间差异显著性使用双样本 *t* 检验。分析方氏云鳎个体大小的空间分布,使用 surfer11 软件制作春季和秋季的站位平均体长分布图。

1.2.2 体长–体重关系 利用幂函数拟合体长–体重关系<sup>[14]</sup>:

$$W=aL^b$$

式中,*W* 为鱼体重(g);*L* 为鱼体长(mm);参数 *a* 为

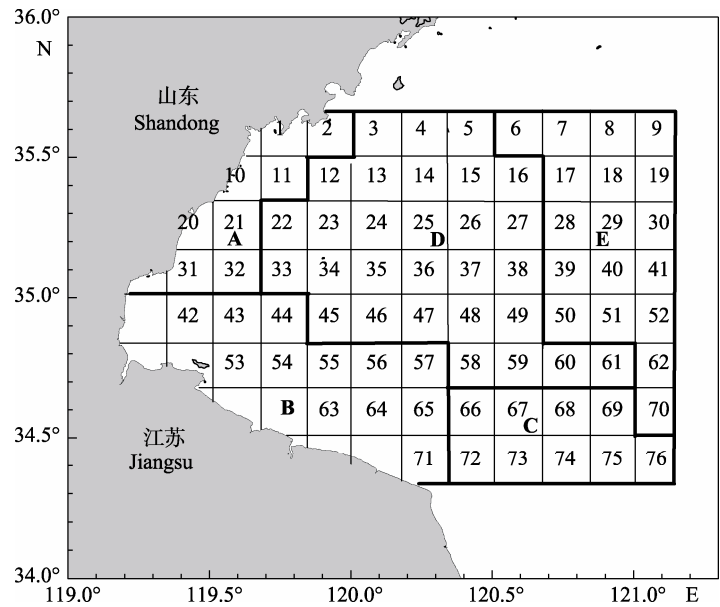


图 1 海州湾及邻近海域渔业资源与环境调查区域图  
Fig. 1 Map of bottom trawl survey areas in Haizhou Bay and adjacent waters

条件因子,反映了种群所处生境的好坏,对于一定体长的鱼,体重值与  $a$  成正比,在饵料基础、水文等环境条件好的月份  $a$  值较大,同时,产卵对  $a$  的大小也有影响<sup>[15]</sup>;参数  $b$  为异速生长因子,可以用来判断该鱼类是否等速生长:当  $b > 3$  时,为正异速生长;  $b < 3$  时,为负异速增长;  $b = 3$  时,为等速生长<sup>[14]</sup>。参数估计中将体长、体重进行对数转化,使用线性回归法进行拟合(R.3.2.2)。本研究比较了参数  $a$ 、 $b$  的年间差异,将年份作为协变量,使用协方差分析<sup>[14]</sup>检验其差异显著性;使用  $t$  检验<sup>[14]</sup>分析异速生长类型,即参数  $b$  与 3 的差异显著性。

**1.2.3 肥满度** 采用 Fulton 状态指数  $K$  计算<sup>[16]</sup>:

$$K=(W/L^3)\times 100$$

式中,  $W$  与  $L$  同上。肥满度可用于不同鱼类,或同种鱼类的不同种群之间的比较<sup>[17]</sup>。肥满度的年间和季节差异显著性使用方差分析;综合不同年份

的春季和秋季站位肥满度,运用 surfer11 软件制作其春季和秋季空间分布图。

2 结果与分析

2.1 体长、体重组时空异质性

各年份春季方氏云鳎体长频率分布均呈多峰状,其中,2 个明显峰值分别出现在 100~120 mm、130~140 mm 处,前者峰值较高;另外,2014 年和 2016 年在 50~75 mm 处还有一个较小峰值。秋季体长频率分布多呈双峰状,均有一个明显的峰值,2011 年峰值在 115~120 mm,其他航次在 120~135 mm (图 2); 另一个较小峰值出现在 140~160 mm。经正态分布检验,只有 2015 年秋季的体长频率分布符合正态分布,其他年份均不符合正态分布(表 1)。

根据海州湾方氏云鳎各航次的体长、体重频率分布分析了均值、优势组、变异系数等特征参数(表 1)。其中,春季航次的平均体长为 117~119 mm,

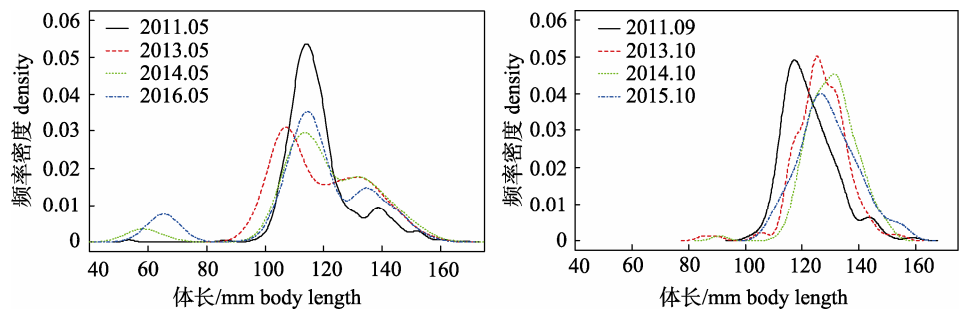


图 2 海州湾方氏云鳎春、秋季体长频率曲线的年际变化  
Fig. 2 Body length frequency distribution of *Pholis fangi* in spring and fall in the Haizhou Bay and the annual variations

表 1 海州湾方氏云鳎体长分布特征的年间变化  
Tab. 1 Temporal variations in body length compositions of *Pholis fangi* in the Haizhou Bay

|              | 年份<br>year | 样本量<br>sample size | 范围/mm<br>range | 均值/mm<br>mean     | 优势组/mm<br>dominant | 比例/%<br>rate | 变异系数/%<br>CV | 中位数/mm<br>median | 正态分布<br>normal distribution |
|--------------|------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------|--------------|------------------|-----------------------------|
| 春季<br>spring | 2011       | 704                | 53~168         | 119 <sup>a</sup>  | 105~120            | 67.5         | 10.12        | 116              | 否 no                        |
|              | 2013       | 308                | 93~158         | 119 <sup>a</sup>  | 100~135            | 57.5         | 12.60        | 116              | 否 no                        |
|              | 2014       | 449                | 45~164         | 119 <sup>a</sup>  | 105~135            | 63.9         | 17.54        | 119              | 否 no                        |
|              | 2016       | 773                | 56~161         | 117 <sup>a</sup>  | 105~135            | 68.6         | 16.31        | 117              | 否 no                        |
| 秋季<br>autumn | 2011       | 158                | 102~159        | 123 <sup>A</sup>  | 110~130            | 78.6         | 7.55         | 121              | 否 no                        |
|              | 2013       | 155                | 85~155         | 127 <sup>B</sup>  | 120~140            | 74.5         | 7.49         | 126              | 否 no                        |
|              | 2014       | 105                | 91~151         | 130 <sup>C</sup>  | 120~140            | 80.0         | 6.78         | 130              | 否 no                        |
|              | 2015       | 67                 | 109~156        | 129 <sup>BC</sup> | 120~140            | 73.1         | 8.05         | 128              | 是 yes                       |

注: 差异显著性以不同上标字母表示( $P < 0.05$ ).  
Note: Different letters show significant differences ( $P < 0.05$ ).

优势体长组的所占比例均在 55%以上(表 1)。平均体重为 6.8~7.4 g, 优势体重组所占比例范围 37.4%~69.0%(表 2)。秋季航次的平均体长为 123~130 mm, 优势体长组的所占比例均在 70%以上。平均体重为 8.5~9.6 g, 优势体重组所占比例均在 50%以上。

春季各航次海州湾方氏云鲷平均体长年间变化较小, 体重在年间先增大后减小; 秋季各航次平均体长、体重逐年增大。体长的变异程度是 2014 年春季最大, 2014 年秋季最小; 体重的变异程度是 2014 年春季最大, 2013 年秋季最小(表 1)。春季航次的变异程度均比秋季航次大。由方差分析可得, 方氏云鲷体长、体重组成总体年间差异极显著( $P<0.01$ )。由  $t$  检验得, 春季方氏云鲷的体长两两年间差异均不显著; 2011 年秋季体长、体重显著小于 2013、2014、2015 年( $P<0.05$ )(表 1)。

研究分析了春、秋季各站位方氏云鲷的体长

平均值(图 2)。春季和秋季的体长空间分布均是海州湾东北部的平均体长较小, 中部和西部的平均体长较大。

2.2 体长-体重关系的时空异质性

方氏云鲷体长-体重幂函数关系式拟合度较高( $R^2>0.8$ ), 且春季航次的关系式拟合度比秋季高(表 3)。协方差分析表明参数  $a$ 、 $b$  在总体年间均有显著差异( $P<0.05$ )。 $t$  检验表明, 方氏云鲷 2013 年的参数  $b$  与 3 差异不显著; 其他年份均显著大于 3。各年份春季和秋季的异速生长类型一致(表 3)。

2.3 方氏云鲷肥满度的时空异质性

每个航次测量的样本计算肥满度, 方差分析显示方氏云鲷肥满度的总体年间差异显著( $P = 3.106 \times 10^{-9} < 0.05$ ), 季节变化差异极显著( $P = 0.0425 < 0.01$ )。肥满度的季节差异大于年间的差

表 2 海州湾方氏云鲷体重组成的年间变化  
Tab. 2 Temporal variations in body weight compositions of *Pholis fangi* in the Haizhou Bay

| 季节 season | 年份 year | 范围/g range | 均值/g mean         | 优势组/g dominant | 比例/% rate | 变异系数/% CV | 中位数/g median |
|-----------|---------|------------|-------------------|----------------|-----------|-----------|--------------|
| 春季 spring | 2011    | 0.2~25.0   | 6.9 <sup>a</sup>  | 4~7            | 69.0      | 47.54     | 5.9          |
|           | 2013    | 2.8~20.9   | 7.3 <sup>bc</sup> | 4~6            | 38.0      | 43.56     | 6.3          |
|           | 2014    | 0.3~27.8   | 7.4 <sup>b</sup>  | 4~7            | 37.4      | 57.16     | 6.4          |
|           | 2016    | 0.4~20.3   | 6.8 <sup>ac</sup> | 4~7            | 51.1      | 50.15     | 6.0          |
| 秋季 autumn | 2011    | 4.6~21.8   | 8.5 <sup>A</sup>  | 6~9            | 62.7      | 31.53     | 7.7          |
|           | 2013    | 1.7~17.8   | 9.1 <sup>B</sup>  | 8~10           | 50.3      | 22.97     | 8.9          |
|           | 2014    | 2.0~17.3   | 9.6 <sup>B</sup>  | 7~10           | 52.4      | 25.52     | 9.5          |
|           | 2015    | 2.2~19.3   | 9.6 <sup>B</sup>  | 6~10           | 58.2      | 31.77     | 9.2          |

注: 差异显著性以不同上标字母表示( $P<0.05$ ).  
Note: Different letters show significant differences ( $P<0.05$ ).

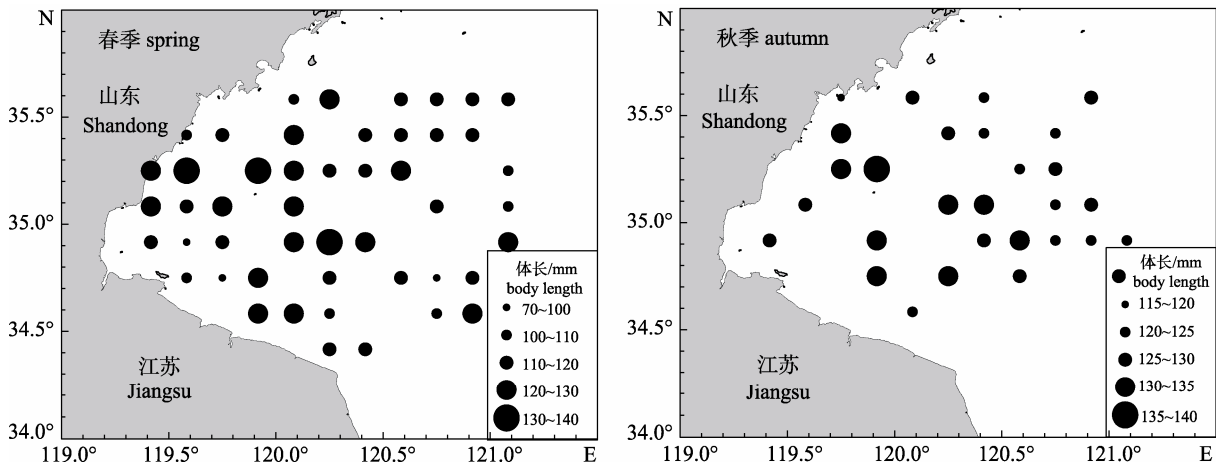


图 3 方氏云鲷春季和秋季平均体长的空间分布  
Fig. 3 Spatial distribution of average body length of *Pholis fangi* in spring and autumn

表 3 方氏云鲷体长-体重关系式( $W=aL^b$ )参数  
Tab. 3 Parameters of body length-weight relationship ( $W=aL^b$ ) for *Pholis fangi*

| 年份<br>year | 春季 spring            |                     |       | 秋季 autumn            |                     |       |
|------------|----------------------|---------------------|-------|----------------------|---------------------|-------|
|            | $a$                  | $b\pm SD$           | $R^2$ | $a$                  | $b\pm SD$           | $R^2$ |
| 2011       | $5.61\times 10^{-8}$ | $3.89\pm 0.04^{**}$ | 0.915 | $6.23\times 10^{-7}$ | $3.41\pm 0.09^{**}$ | 0.911 |
| 2013       | $2.43\times 10^{-6}$ | $3.10\pm 0.06^{ns}$ | 0.891 | $2.62\times 10^{-6}$ | $3.11\pm 0.12^{ns}$ | 0.829 |
| 2014       | $2.1\times 10^{-7}$  | $3.61\pm 0.04^{**}$ | 0.953 | $1.93\times 10^{-7}$ | $3.63\pm 0.15^{**}$ | 0.874 |
| 2015       |                      |                     |       | $2.55\times 10^{-7}$ | $3.59\pm 0.14^{**}$ | 0.907 |
| 2016       | $3.91\times 10^{-8}$ | $3.95\pm 0.03^{**}$ | 0.955 |                      |                     |       |

注:  $a$  和  $b$  为体型参数,  $R^2$  为相关系数; ns: 差异不显著即等速生长( $P>0.05$ ); \*\*: 极显著异速生长( $P<0.01$ ).  
Note:  $a$  and  $b$  are parameters of body length (mm) – weight (g) relationship;  $R^2$  is correlation coefficient; ns denotes no significant difference between  $b$  and 3 ( $P>0.05$ ); \*\* denotes extremely significant difference ( $P<0.01$ ).

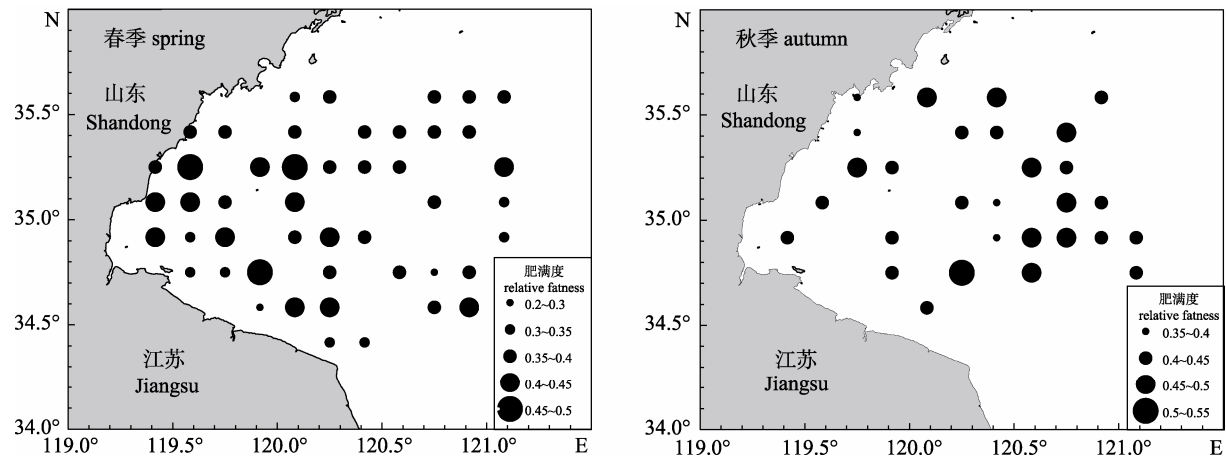


图 4 方氏云鲷春季和秋季肥满度空间分布  
Fig. 4 Spatial distribution of relative fatness of *Pholis fangi* in spring and autumn

异, 季节间均方差(MSE)为 0.084, 年间为 0.005。肥满度在年间呈逐渐减小的趋势, 春季的肥满度显著小于秋季(表 4)。春季肥满度的空间分布是西南部站位比东北部大; 秋季则相反, 西部站位肥满度偏小(图 3)。

3 讨论

本研究表明, 海州湾方氏云鲷的体长、体重组成和体长-体重关系式参数呈现显著时空异质性, 这说明对种群特征参数的简单估计难以真实地反映群体组成的实际动态。因此, 渔业资源评

估需综合考虑体长、体重等参数的时空变化特征, 避免利用单一的参数值拟合模型, 以优化渔业生态评估模型的真实性和有效性, 更有效地预测渔业生态系统以及渔业资源种群动态特征。

3.1 方氏云鲷年龄组成

经 Shapiro 正态分布检验, 海州湾方氏云鲷的群体体长组成多不服从正态分布, 而呈现多峰结构。其中, 春季航次体长频率分布划分为 3 个体长组, 秋季航次划分为 2 个体长组。方氏云鲷生活史研究表明, 其繁殖季节在秋季<sup>[9]</sup>, 雌、雄达到初次性成熟的年龄均为 II 龄, 产卵群体由 II~IV

表 4 海州湾方氏云鲷春、秋季肥满度的年变化  
Tab. 4 Temporal variations in relative fatness of *Pholis fangi*

| 季节 season | 2011              | 2013              | 2014              | 2015              | 2016              |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 春季 spring | $0.3953\pm 0.068$ | $0.3903\pm 0.043$ | $0.3785\pm 0.048$ |                   | $0.3404\pm 0.078$ |
| 秋季 autumn | $0.4518\pm 0.049$ | $0.4499\pm 0.059$ | $0.4213\pm 0.045$ | $0.4233\pm 0.063$ |                   |

注: 样本量  $n$  见表 1。  
Note: Sample size  $n$  is shown in table 1

龄组成,以Ⅲ龄为主<sup>[10]</sup>等。据此推测春季航次中的幼鱼体长组(40~80 mm)对应的年龄为Ⅰ龄(上一年秋季出生的鱼<sup>[18]</sup>),其他2个体长组(100~120 mm和130~140 mm)分别对应Ⅱ龄和Ⅲ龄鱼。秋季航次中的2个体长组为Ⅱ龄和Ⅲ龄。姜志强等<sup>[19]</sup>根据耳石结构计算了生长方程,得到大连地区方氏云鳚的年龄以及对应的平均体长,其结果中方氏云鳚群体年龄组成共有Ⅰ~Ⅳ龄,主要以Ⅱ龄为主。对比本研究中海州湾方氏云鳚体长组成推测年龄组成,其结论基本一致(表5)。需要注意的是,本研究中捕获的方氏云鳚以Ⅱ龄和Ⅲ龄鱼为主,幼鱼数量较少,这不符合群体的基本补充过程。其原因可能是方氏云鳚的体型狭长,作业网具的网目尺寸可能不适于捕捞幼鱼(4~8 cm);此外幼鱼与成鱼的水层分布可能存在差异,本调查采用的底拖网作业方式对于中上水层的捕获效率较低。今后的研究中需考虑定置网在内的多种调查方法,并增加调查频率,以准确地反映方氏云鳚种群组成动态变化。同时结合耳石年龄鉴定的结果,分析年龄-体长组关系以及估算生长方程<sup>[20]</sup>。

表5 方氏云鳚体长与年龄对照表  
Tab. 5 Comparison of length-age of *Pholis fangi* between Haizhou Bay and Dalian coastal waters

| 大连海域 <sup>[19]</sup> Dalian coastal waters <sup>[19]</sup> |                     | 海州湾 Haizhou Bay |
|------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|
| 年龄 age                                                     | 平均体长/mm body length | 体长范围/mm range   |
| Ⅰ                                                          | 97.3                | 40~80           |
| Ⅱ                                                          | 120.2               | 100~120         |
| Ⅲ                                                          | 135.1               | 130~140         |
| Ⅳ                                                          | 149.8               | 140+            |

3.2 体长体重特征参数的时空变化

本研究得到的方氏云鳚异速生长因子  $b$  值的范围在3.10~3.93,表明参数  $b$  均大于3,即方氏云鳚群体为正异速生长;青岛近海<sup>[9]</sup>成鱼  $b$  值为3.38,而姜志强等<sup>[19]</sup>调查大连区域成鱼的  $b$  值为3.18,与本研究结果一致,即在生长过程中体重增加快于体长增加,体形发生变化<sup>[21]</sup>。相关研究表明导致  $b$  值变化的原因有很多,包括环境、发育阶段、捕捞强度<sup>[15, 22]</sup>、性别、种群的不同<sup>[23]</sup>,胃饱满度、疾病<sup>[21]</sup>,个体食性的转化<sup>[15]</sup>,还可能与所选体长范围有关<sup>[24]</sup>。此外,调查群体中是否区

分幼鱼和成鱼以及水域、调查时间的不同也会对结果产生影响。异速生长因子的季节性波动和年间变化,可作为考察鱼类响应环境变化的一个指标<sup>[22]</sup>,在一定程度上反映群体动态特征。例如,刘勇等<sup>[25]</sup>根据幂指数的相对大小推断小黄鱼产卵群体分布;朱立新等<sup>[22]</sup>认为鳃  $b$  值的变大趋势与资源密度的下降有关。本研究中协方差分析表明方氏云鳚的异速生长因子  $b$  值在各年同季节间有显著差异,在一定程度上反映了年际间环境、繁殖状态、摄食强度等的差异引起了鱼类生长模式的变化。进一步分析表明,各年秋季确定性成熟期的样本较少,大部分个体处于Ⅱ~Ⅳ期;根据黄晓漩<sup>[9]</sup>在青岛近海的研究,方氏云鳚的繁殖发生在秋季水温下降时,水温在16℃左右,繁殖盛期在11月。海州湾秋季调查时间为10月,各站位水温均高于16℃,因此秋季采样时期方氏云鳚大多未产卵。另一方面,方氏云鳚的摄食强度在各年同季节下有差异,其中春季2011年平均摄食强度最高,2016年最低;秋季2013年最高,2011年最低。与  $b$  值的变化趋势有差异,因此可能不是引起  $b$  值变化的主要因素。在渔业资源评估中,应充分考虑  $b$  值以及其他生物学参数的年间差异及其影响因素,为方氏云鳚群体的管理开发策略提供依据。

相关研究指出,鱼类肥满度与其性别、性成熟度、繁殖期以及外界水温有关<sup>[15]</sup>。海州湾方氏云鳚肥满度春季各年份均小于秋季,与王书磊等<sup>[26]</sup>研究的另一种秋季繁殖的鱼类,大泷六线鱼肥满度季节规律基本一致。其原因可能是,方氏云鳚在秋季性腺逐渐成熟,秋季方氏云鳚的性比(雌:雄)高于春季<sup>[9]</sup>;而且群体经历了水温高且饵料生物丰富的夏季,秋季时已积累了较多能量,因此总体重增大<sup>[26]</sup>,肥满度较高。而春季方氏云鳚尽管摄食强度最大<sup>[18]</sup>,但是经历了越冬体内积累的能量消耗,因此肥满度相对低。

体长和肥满度的空间分布在春季基本一致,均为西南部高于东北部。调查海域的东北部春季可能受到初期形成的黄海冷水团的影响<sup>[27]</sup>,使海州湾形成了东北部水温低,西南部水温高的特点。温度较高的西南部水域,更有利于以中华哲



水蚤(*Calanus sinicus*)、太平洋鳞虾(*Euphausia pacifica*)、细脚贼(*Themisto graoilies*)和沙蚕等为主饵料生物<sup>[18]</sup>的生长,从而导致了西南部站位的生活环境及营养条件优于东北部区域,方氏云鳚生长较快;另一方面,不同个体大小的鱼对生活环境要求可能不同,因此会选择适宜的栖息地生存,从而导致分布区域不同。

体长、体重特征参数可能受水温、盐度和 pH 等很多环境因子的影响,本研究将海州湾 2011—2016 年 8 个航次平均水温与肥满度、平均体长、*b* 值分别作了 Pearson 相关分析。分析结果表明,相关特征参数与水温的相关性整体较低,而秋季水温与平均体长间呈现出较强的负相关关系,春季水温和 *b* 值,秋季水温和肥满度呈一定程度的正相关(表 6)。结果说明水温对于方氏云鳚的体长、体重特征参数具有一定的影响,但其他环境因素也同时影响了特征参数的年间变化。

表 6 海州湾水温与方氏云鳚体长体重特征参数年间变化的相关系数  
Tab. 6 Correlation coefficients between annual temperature and characteristic parameters of *Pholis fangi* in spring and autumn

| 水温<br>temperature                        | 肥满度<br>relative<br>fatness | 平均体长/mm<br>mean body<br>length | <i>b</i> |
|------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------|
| 春季底温<br>sea bottom temperature in spring | 0.1176                     | 0.2254                         | 0.6031   |
| 秋季底温<br>sea bottom temperature in autumn | 0.6461                     | -0.8755                        | -0.2466  |

4 结语

从生态学的角度来看,一些生物学参数的微小变化可能通过营养级联产生较为复杂的生态效应。特别是由于鱼类摄食的效率取决于其饵料的大小和游动能力,个体大小的变化可能影响捕食性鱼类摄食的效率和能量消耗,从而导致食物网链接强度发生变化。本研究发现方氏云鳚个体大小以及参数 *b* 有显著的年际变化,特别是秋季体长、体重有逐年增大的趋势,这可能对方氏云鳚在海洋生态系统中的作用产生一定影响。值得注意的是,限于本研究的时空尺度,这种变化也可能受调查时间的差异和取样随机性的影响,需要

在进一步的研究中加以验证。随着方氏云鳚作为饵料性低值鱼类在海州湾地区捕捞渔获物中的优势种地位逐年升高,在生态系统中的作用越来越重要,研究方氏云鳚为代表的饵料鱼类生物学具有重要意义。由于鱼类在不同生长发育阶段其身体结构、生理结构、食性、生长速率等都有明显的变化<sup>[17, 28]</sup>,下一步可以研究和比较方氏云鳚不同生长阶段的生物学特征,为渔业资源和生态系统的养护提供依据。

参考文献:

[1] Wang X L, Xu B D, Ji Y P, et al. Fish community structure and its relationships with environmental factors in Haizhou Bay and adjacent waters of East China in winter[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(6): 1707–1714. [王小林, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 海州湾及邻近海域冬季鱼类群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1707–1714.]

[2] Luo X L, Ren Y P, Xing L, et al. Species composition and diversity of crab assemblage in Haizhou Bay[J]. Biodiversity Science, 2015, 23(2): 210–216. [罗西玲, 任一平, 邢磊, 等. 海州湾蟹类群落种类组成及其多样性[J]. 生物多样性, 2015, 23(2): 210–216.]

[3] Wang Z F. Research on ecological recovery suitability assessment for Haizhou Bay special marine reserves[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2011. [王在峰. 海州湾海洋特别保护区生态恢复适宜性评估[D]. 南京: 南京师范大学, 2011.]

[4] Yu H T. The Analysis of typical estuarine and offshore fishery resources and biological community structure in Shandong[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [于海婷. 山东近海典型海湾河口渔业资源调查与生物群落结构分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.]

[5] Meng Q W. The Taxonomy of Fishes[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996. [孟庆闻. 鱼类分类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.]

[6] Bi Y P. Biology and its fishery of Fang's blenny *Enedrias-fangi* Wang et Wang in offshore in Liaoning Province[J]. Fisheries Sciences, 2005, 24(9): 27–28. [毕远溥. 方氏云鳚渔业生物学及其在辽宁沿海的渔业[J]. 水产科学, 2005, 24(9): 27–28.]

[7] Andersen K H, Jacobsen N S, Farnsworth K D. The theoretical foundations for size spectrum models of fish community[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2015, 73(4): 1–14.

[8] Wootton R J. The evolution of life histories: Theory and analysis[J]. Rev Fish Biol Fisher, 1993, 3(4): 384–385.

[9] Hang X X. Study on the fishery biology of *Enedrias fangi* Wang et Wang in inshore waters of Qingdao[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. [黄晓璇. 青岛近海方氏

- 云鳚(*Enedrias fangi* Wang et Wang)渔业生物学初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.]
- [10] Jiang Z Q, Meng Q J, Miao Z O. The reproductive biology of *Enedrias fangi* in Dalian[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1997, 12(3): 1–6. [姜志强, 孟庆金, 苗治欧. 大连地区方氏云鳚繁殖生物学的研究[J]. 大连水产学院学报, 1997, 12(3): 1–6.]
- [11] Li L. Study on morphology and genetics of *Pholis fangi* and *P. nebulosa*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. [李琳. 方氏云鳚和云鳚的形态学与遗传学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.]
- [12] Liu Y W, Xue Y, Wei B F, et al. An estimation of population parameters for five major fish species in the Haizhou Bay, Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(1): 125–133. [刘元文, 薛莹, 魏邦福, 等. 海州湾5种主要鱼类种群参数估算[J]. 中国水产科学, 2014, 21(1): 125–133.]
- [13] Li M, Li Z G, Xu B D, et al. Effects of spatiotemporal and environmental factors on the distribution and abundance of *Pholis fangi* in Haizhou Bay using a generalized additive model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(4): 812–819. [李敏, 李增光, 徐宾铎, 等. 时空和环境因子对海州湾方氏云鳚资源丰度分布的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 812–819.]
- [14] Li Z L. Interannual changes in biological characteristics of small yellow croaker *Larimichthys polyactis*, pacific cod *Gadus macrocephalus* and anglerfish *Lophius litulon* in the Bohai Sea and Yellow Sea[D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2011. [李忠炉. 黄渤海小黄鱼、大头鳕和黄鮟鱇种群生物学特征的年际变化[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2011.]
- [15] Dong J, Wang C, Tang M Z, et al. Relationship between body length and body weight of *Pacific sand lance* in the Yellow Sea[J]. Fisheries Science, 2004, 23(10): 9–11. [董婧, 王冲, 唐明芝, 等. 黄海区玉筋鱼体长和体重的关系[J]. 水产科学, 2004, 23(10): 9–11.]
- [16] Dai Q, Dai J H, Li C, et al. Discussion on relative fatness[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2006, 12(5): 715–718. [戴强, 戴建洪, 李成, 等. 关于肥满度指数的讨论[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(5): 715–718.]
- [17] Huang Z L, Chang J B. Fractal characteristics of length-weight relationship in fish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(4): 330–336. [黄真理, 常剑波. 鱼类体长与体重关系中的分形特征[J]. 水生生物学报, 1999, 23(4): 330–336.]
- [18] Tang Q S, Ye M Z. Exploitation and Protection of Offshore Fishery Resources in Shandong[M]. Beijing: Agricultural Press, 1990. [唐启升, 叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护[M]. 北京: 农业出版社, 1990.]
- [19] Jiang Z Q, Qing K J. Age construction and growth of *Enedrias fangi* in Dalian[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1990, 5(1): 33–41. [姜志强, 秦克静. 大连地区方氏云鳚的年龄和生长[J]. 大连海洋大学学报, 1990, 5(1): 33–41.]
- [20] Zhan B Y. Fisheries Stock Assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [21] Chang J B, Sun J Y. Study on the population growth and mortality of *Paracanthobrama aguichenoti* Bleeker in Wanghu lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1994, 18(3): 230–239. [常剑波, 孙建贻. 网湖似刺鲃种群生长和死亡率研究[J]. 水生生物学报, 1994, 18(3): 230–239.]
- [22] Zhu L X, Hou G, Liang Z L. Parameter estimation of the weight-length relationship of Japanese anchovy in the north Yellow Sea using Bayesian methods[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(4): 757–769. [朱立新, 侯刚, 梁振林. 基于贝叶斯方法的黄海北部鳀鱼体长与体重关系式参数估计[J]. 中国水产科学, 2015, 22(4): 757–769.]
- [23] Zhang G Z, Li X S, Zhu J C, et al. The growth characteristics of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* (Bleeker, 1987) under yearling in the central and southern Yellow Sea[J]. Marine Fisheries Research, 2010, 31(3): 15–22. [张国政, 李显森, 朱建成, 等. 黄海中南部小黄鱼当年幼鱼生长特征的研究[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(3): 15–22.]
- [24] Froese R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2006, 22(4): 241–253.
- [25] 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. [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.]
- [26] Wang S L, Jiang Z Q, Miao Z O. The biology of fat greenling *Hexagram mosotakii* Jordan et Starks at various seasons in Dalian[J]. Fisheries Science, 2005, 24(5): 1–3. [王书磊, 姜志强, 苗治欧. 大连海区大泷六线鱼生物学指标的季节变化[J]. 水产科学, 2005, 24(5): 1–3.]
- [27] Ren H J, Zhan J M. A numerical study on the seasonal variability of the Yellow Sea cold water mass and the related dynamics[J]. 2005, 20(s1): 887–896. [任慧军, 詹杰民. 黄海冷水团的季节变化特征及其形成机制研究[J]. 水动力学研究与进展, 2005, 20(s1): 887–896.]
- [28] He B, Chen X J, Du Jun, et al. Study on growth characteristics of *Acipenser dabryanus* Dumeril under artificial culturing conditions[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(1): 335–339. [何斌, 陈先均, 杜军, 等. 人工养殖条件下达氏鳇生长特性的研究[J]. 西南农业学报, 2011, 24(1): 335–339.]



## Size distribution and length–weight relationships in *Pholis fangi* in Haizhou Bay

LUAN Jing, XU Binduo, XUE Ying, REN Yiping, ZHANG Chongliang

College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

**Abstract:** Body size is a basic biological characteristic in fish populations and can reflect individual physiology as well as changing environment conditions. Slight variabilities in some biological parameters may result in complex ecological effects, and affect food web link intensity in trophic cascades. However, the spatial and temporal heterogeneity of size composition within populations have often been ignored in many studies of fish biology. We use Fang's gunnel (*Pholis fangi*) in Haizhou Bay as an example for studying the variability of body size on an annual scale. *P. fangi* is a low trophic fish and plays an important role in the food web and ecosystem of the Yellow Sea, with increasing dominance in Haizhou Bay. We collected annual bottom trawl surveys in Haizhou Bay in the spring and fall from 2011 to 2016. We used a range of statistical methods, included variable coefficient, covariance analysis, two-sample *t*-test, and Pearson correlation analysis to study the population size composition, length-weight relationship, and relative fatness of *P. fangi* in this area. We analyzed the annual and seasonal variability as well as the spatial distribution of body length and relative body mass. The results showed that *P. fangi* had multiple age structure in Haizhou Bay. Their length frequency distributions were multi-modal and skewed, with the majority of captured individuals aged 2–3 years. Statistical analysis indicated that there were remarkable temporal and spatial variations in the average size and the parameters of body length-weight relationship of *P. fangi*, with significant differences across years ( $P < 0.05$ ). The average body length and relative fatness tended to be higher during autumn surveys than spring surveys. Variation in relative fatness was greater between seasons than among years. In spring, the spatial distribution of body length and relative fatness was larger in the southwest area than the northeast area of the bay. A *t*-test on the body length-weight relationship showed that the allometric growth patterns of *P. fangi* were generally positive. Correlation analyses between benthic water temperature and the length-weight relationship showed that temperature had a substantial influence on the relative fatness, body length-weight relationship, and mean body length. The spatiotemporal variability of fish size and other parameters may be attributed to their feeding intensity, maturation, fishing pressure, and environmental and habit variation, and is also likely to reflect changes in the fishery ecosystem. We suggest that the spatiotemporal variability of population size composition should be fully considered in fisheries resource management, as these basic parameters can contribute significantly to fishery ecosystem modelling and management strategy evaluation.

**Key words:** *Pholis fangi*; body length composition; body weight composition; body weight-length relationship; relative fatness; spatial-temporal variability

**Corresponding author:** ZHANG Chongliang. E-mail: zhangclg@ouc.edu.cn