

衷思剑, 王晶, 刘淑德, 等. 山东近海高眼鲷种群结构及资源分布[J]. 海洋学报, 2020, 42(4): 29–39, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2020.04.004

Zhong Sijian, Wang Jing, Liu Shude, et al. Population structure and spatial distribution of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters[J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(4): 29–39, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2020.04.004

# 山东近海高眼鲷种群结构及资源分布

衷思剑<sup>1</sup>, 王晶<sup>1</sup>, 刘淑德<sup>2</sup>, 王四杰<sup>2</sup>, 任一平<sup>1,3\*</sup>

(1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003; 2. 山东省水生生物资源养护管理中心, 山东 烟台 264003; 3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 根据秋(2016年10月)、冬(2017年1月)、春(2017年5月)和夏(2017年8月)4个季节在山东近海的底拖网调查数据,对高眼鲷(*Cleisthenes herzensteini*)种群结构和资源分布的季节差异进行研究。结果表明,高眼鲷的平均体长在秋、冬季较大,而平均体质量则在夏、秋季较大。当体长大于15 cm时,体质量呈现较大的季节变化,体质量增长率在夏季最大。采用 von Bertalanffy 生长方程表示其生长特性,生长参数  $L_{\infty}$  为 37.85 cm、 $K$  为 0.28、 $t_0$  为 -0.57。通过 Pauly 经验公式求得高眼鲷的自然死亡系数为 0.54。体长转换的渔获曲线求得总死亡系数为 1.69,进而求得现阶段的捕捞死亡系数为 1.15,开发率高达 68.05%,并求得开捕年龄为 1.48 龄,开捕体长为 12.68 cm。年龄组成为 1~5 龄,其中 1 龄与 2 龄个体分别占总数的 45.15% 与 40.23%。各季节中,只有夏季样品的雌雄性比与 1:1 差异显著( $p < 0.05$ ),且雌性的数量显著多于雄性。50% 性成熟体长为 22.35 cm,性成熟比例和平均性成熟系数最高的季节出现在夏季。高眼鲷主要分布在底层水温为 6.45~19.06℃、底层盐度为 31.82~33.10 和 50 m 等深线以深的海域,其平均渔获量在秋季远多于其他季节,在冬季陡然下降,随后缓慢上升。山东近海高眼鲷显现出体长分布狭窄、饵料条件恶化、产卵期延迟和过度捕捞等现象,休渔期前后资源量变化剧烈。

**关键词:** 高眼鲷; 种群结构; 相对资源密度; 时空分布; 山东近海

中图分类号: P714<sup>+</sup>.5; S931.1

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2020)04-0029-11

## 1 引言

高眼鲷(*Cleisthenes herzensteini*)为近海冷温性底层鱼类,属于鲷形目(Pleuronectiformes)、鲷科(Pleuronectidae)、高眼鲷属(*Cleisthenes*),分布于西北太平洋的广阔水域,在我国则分布于渤海、黄海和东海,从浙江大陈岛至鸭绿江口均有出现,常见于 33°N 以北的海域<sup>[1-2]</sup>,是黄、渤海鲷类中资源量较多的种类之一<sup>[3]</sup>,具有重要的经济价值。高眼鲷通常栖息于砂泥底质海域的底部,营养级较高,以小型鱼类、甲

壳类和瓣鳃类为主要捕食对象<sup>[4]</sup>,在黄海食物网和生态系统中占有重要地位<sup>[5]</sup>。由于捕捞强度的过大,产卵场和越冬场等栖息地的破坏,以及气候变化等因素的影响,许多传统经济鱼类处于资源萎缩之中,其中就包括高眼鲷<sup>[6]</sup>。近年来,有研究表明,高眼鲷的种群结构已经简单化,个体小型化现象明显,资源量呈下降的趋势<sup>[5]</sup>。为了高眼鲷资源的保护、管理和长期利用,对该鱼种进行全面而深入的研究显得十分有必要。

目前,国内外学者对高眼鲷的研究不多,且主要涉及于摄食<sup>[3,7-8]</sup>、发育<sup>[9-10]</sup>和基因<sup>[11-12]</sup>等方面,而关于

收稿日期: 2019-06-03; 修订日期: 2019-12-17。

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900904, 2018YFD0900906)。

作者简介: 衷思剑(1994—),男,江西省南昌县人,研究方向为渔业资源生态学。E-mail: zsj4319@163.com

\* 通信作者: 任一平,教授,主要从事渔业生态系统监测与评估研究。E-mail: renyip@ouc.edu.cn

其种群结构和资源量方面的报道较少。Shan 等<sup>[5]</sup>研究了黄海中南部高眼鲷 1985—2010 年各个季节的资源动态和生物学特征,发现高眼鲷种群呈向北移动和集中化的趋势,且其优势体长正在逐年减小。山东省海域面积辽阔,海岸线绵延 3 345 km,河口、海湾和岩礁广布<sup>[13]</sup>,有烟威、石岛和连青石等众多渔场,是小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)和星康吉鳗(*Conger myriaster*)等经济鱼类重要的繁衍育肥场所,也是高眼鲷的主要分布区之一<sup>[14-15]</sup>,然而迄今未有对整个山东海域高眼鲷的研究报道。因此,本文根据在山东近海进行的 4 个航次的底拖网调查数据,对高眼鲷的种群结构和相对资源密度的分布状况等方面进行研究,旨在为深入了解该鱼类的种群特征提供基础资料,为修复与合理利用山东近海高眼鲷资源提供科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据来源

高眼鲷样品采自秋(2016 年 10 月)、冬(2017 年 1 月)、春(2017 年 5 月)和夏(2017 年 8 月)4 个季节在山东近海海域进行的底拖网调查。按照季节,将整个调查分为 4 个航次,所有航次均设置 177 个调查站位(图 1),其中有 52 个站位在至少 1 个航次中采到高眼鲷,共计 793 尾。使用的渔业调查船功率为 220 kW,作业方式为单拖网,尺寸为 1 380 目×4.67 cm,网口的高度和宽度分别约为 7.53 m 和 15 m。根据《海洋调查规范》<sup>[16]</sup>的技术要求,将捕捞上来的样品先经过冷冻保存处理,在实验室解冻后,测定体长、体质量、纯

体质量和性腺成熟度等生物学参数。长度和质量的测量分别精确到 0.1 cm 和 0.01 g。每站起网后用 CTD 仪测量该调查站位的水深、底层盐度和水温等环境数据。

### 2.2 数据分析

高眼鲷体长和体质量的拟合关系式<sup>[17]</sup>:

$$W = aL^b, \quad (1)$$

式中,  $W$  和  $L$  分别为体质量(单位: g)和体长(单位: cm),  $a$  为条件因子,  $b$  为异速生长因子。当  $b$  值为 3 时,个体为等速生长,即体长、体高和体宽的增长速率相等;当  $b$  值大于 3 时,个体为正异速生长,即体高和体宽的增长速率快于体长;当  $b$  值小于 3 时,个体为负异速生长<sup>[18]</sup>。参数  $b$  的值与 3 的差异运用  $t$  检验。使用协方差分析检验各季节雌雄个体体长-体质量关系的差异显著性,若有显著差异,则雌雄分开各自拟合关系式,反之则合并分析。

高眼鲷的生长采用 von Bertalanffy 生长方程来拟合<sup>[19]</sup>:

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}], \quad (2)$$

式中,  $L_t$  是年龄  $t$ (单位: a)时的平均体长(单位: cm);  $L_\infty$  是渐近体长(单位: cm);  $K$  是生长系数,即生长曲线的平均曲率,表示个体体长趋向于其渐近值的相对速率;  $t_0$  是理论上体长为 0 时的年龄。本研究以 1 cm 为间隔,将高眼鲷样品划分为 27 个体长组,使用电子体长频率分析(Electronic Length Frequency Analysis, ELEFAN)<sup>[20]</sup>方法估算生长参数  $L_\infty$ 、 $K$ 、 $t_0$ ,并根据 Pauly 经验公式估算理论初始年龄  $t_0$ <sup>[21]</sup>:

$$\log_{10}(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \log_{10} TL_\infty - 1.038 \log_{10} K, \quad (3)$$

式中,  $TL_\infty$  为渐近全长,故需将渐近体长( $L_\infty$ )换算为渐

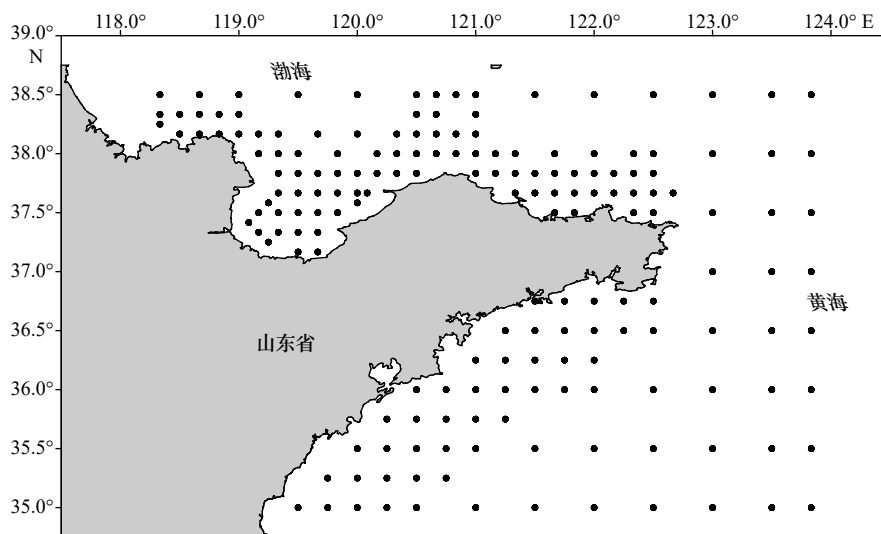


图 1 山东近海调查站位

Fig. 1 Sampling stations in Shandong coastal waters

近全长。因此,根据高眼鲷样品的全长和体长数据,经线性拟合得到全长和体长的关系式,从而求得该鱼的渐近全长。最后,根据R软件生成的生长曲线图,通过彼得生(Peterson)鱼体自然长度分布曲线法得出高眼鲷样品的年龄<sup>[22]</sup>。

捕捞死亡系数( $F$ )通过总死亡系数( $Z$ )和自然死亡系数( $M$ )的差值来求得, $Z$ 通过体长转换的渔获曲线计算<sup>[23]</sup>, $M$ 采用Pauly经验公式计算<sup>[24]</sup>:

$$\log_{10}M = -0.0066 - 0.2790 \log_{10}L_{\infty} + 0.6543 \log_{10}K + 0.4634 \log_{10}T, \quad (4)$$

式中, $T$ 为生长环境的平均水温(单位:℃),依据本次山东近海的调查数据,平均底层水温设为14.92℃。开发率( $E$ )为 $F$ 和 $Z$ 的比值。根据渔获曲线方程推算捕捞选择性系数( $S$ )<sup>[25]</sup>, $S$ 为0.5时的年龄即为开捕年龄,对应的体长为开捕体长。

运用 $\chi^2$ 检验比较高眼鲷的性比(♀:♂)与1:1的差异<sup>[23]</sup>:

$$\chi^2 = \sum [(O-E)^2/E] (df=1), \quad (5)$$

式中, $O$ 为实际观察尾数, $E$ 为理论尾数。

性成熟变化以性成熟系数(Gonadal Somatic Index,  $GSI$ )表示<sup>[26]</sup>:

$$GSI = \frac{GW}{NW} \times 1000, \quad (6)$$

式中, $GW$ 为性腺质量(单位:g), $NW$ 为去除性腺和胃肠的纯体质量(单位:g)。

性腺成熟度采用目测等级法,性腺发育程度按照I~VI期进行划分<sup>[27]</sup>,IV期以上(IV~VI期)即为性成熟。以2cm为间隔划分体长组,利用各体长组的性成熟个体百分比拟合逻辑斯缔(Logistic)曲线,并推算高眼鲷的50%性成熟体长<sup>[28]</sup>:

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-K(L_i - L_{50})}} \times 100\%, \quad (7)$$

式中, $P_i$ 为性成熟个体占组内样本总数的百分比, $K$ 为瞬时性成熟速率, $L_i$ 为各体长组的组中值(单位:cm), $L_{50}$ 为50%性成熟体长(单位:cm)。

各站位的拖网时间均标准化为1h,拖网速度均标准化为3kn。以单位时间渔获量(单位:kg/h)表示各站位高眼鲷的相对资源密度,以平均渔获量(单位:kg/h)、贡献率和出现频率表示各航次高眼鲷的相对资源密度。由于高眼鲷为贴近海底泥沙生活的鱼类,因此本研究采用底层水温、底层盐度和水深等环境因子分析高眼鲷的栖息环境。

### 3 结果

#### 3.1 体长和体质量的组成

山东近海此次调查所得高眼鲷样品的体长范围为3.8~29.6cm(表1),平均体长为13.61cm,优势体长组为6~18cm,占总数的88.90%。秋季采集的高眼鲷平均体长最大,其次是冬季个体,而春、夏季的个体较小。秋、冬季的体长频率均为单峰型(图2),峰值为14~15cm。春季体长频率为双峰型,峰值为5~7cm和14~15cm。夏季体长频率为单峰型,峰值为8~9cm。体质量范围为0.96~487.50g(表1),平均体质量为48.12g,优势体质量组为0~70g,占总数的78.18%。夏、秋季采集的高眼鲷平均体质量较大,而冬、春季的个体较小。

#### 3.2 体长-体质量关系

协方差分析表明,在任何季节,高眼鲷雌雄群体之间的体长-体质量关系参数无显著差异( $p>0.05$ ),因此,将每个季节的雌雄群体合并用于分析。参数 $a$ 在春季和秋季较大(表2),在冬季和夏季较小; $b$ 值在夏季最大,其次是冬季和秋季,而春季最小。经 $t$ 检验, $b$ 值与3存在显著差异( $p<0.05$ )。在体长为0~15cm时,高眼鲷的体质量季节差异很小(图3);当体长大于15cm时,体质量则呈现较大的季节变化。体质量增长率在夏季较大,其次是冬季,而春季和秋季较小且几乎相等。

#### 3.3 生长、死亡、开捕体长和年龄

采用 von Bertalanffy 生长方程描述高眼鲷的生长

表1 山东近海高眼鲷体长和体质量组成的季节变化

Table 1 Seasonal variations in length and mass of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

季节	样品量/尾	体长/cm			体质量/g		
		范围	优势组	平均值±标准差	范围	优势组	平均值±标准差
秋	268	7.5~29.5	10~18(76.49%)	14.74±3.64	3.87~440.73	0~50(65.67%)	51.22±55.72
冬	123	9.0~26.5	10~16(63.41%)	14.53±3.26	8.03~359.11	5~65(76.42%)	45.71±41.50
春	272	3.8~27.1	6~16(54.78%)	12.57±5.84	0.96~267.15	0~60(73.53%)	44.00±50.78
夏	130	6.6~29.6	6~10(56.92%)	12.56±5.64	2.46~487.50	0~70(75.38%)	52.66±80.95

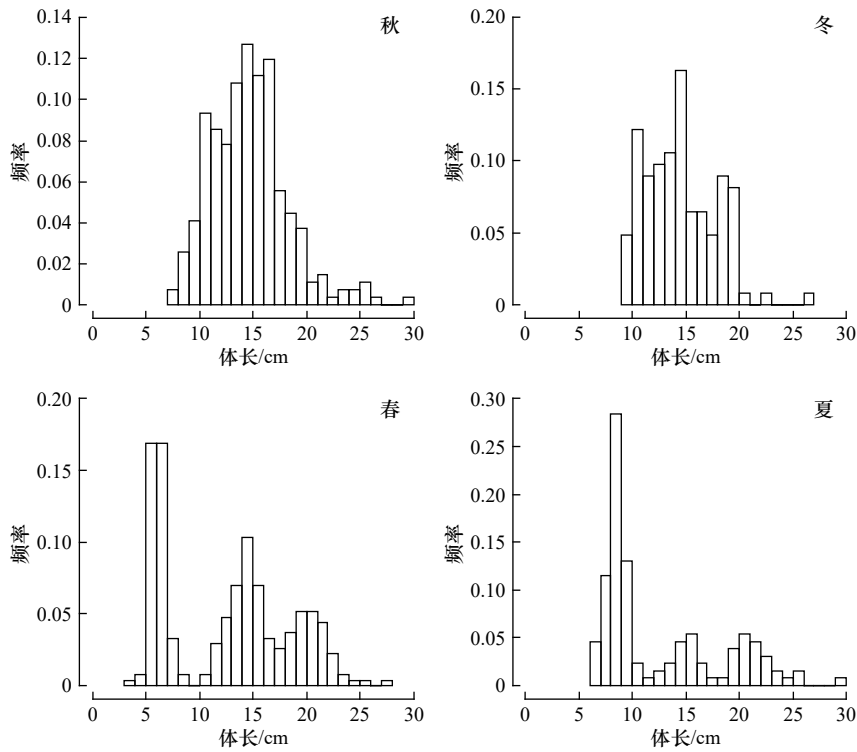


图 2 山东近海高眼鲈体长分布

Fig. 2 Length distributions of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

表 2 山东近海高眼鲈体长-体质量关系参数

Table 2 Parameters of length-mass relationships for *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

季节	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
秋	$8.125 \times 10^{-3}$	3.156	0.870
冬	$4.276 \times 10^{-3}$	3.389	0.969
春	$9.244 \times 10^{-3}$	3.119	0.990
夏	$3.564 \times 10^{-3}$	3.492	0.976

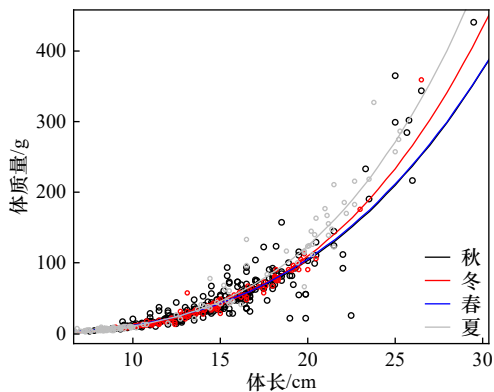


图 3 山东近海高眼鲈在不同季节的体长-体质量关系差异

Fig. 3 Variations of length-mass relationships for *Cleisthenes herzensteini* among seasons in Shandong coastal waters

特征,应用 ELEFAN 技术拟合高眼鲈的生长方程,得出其生长曲线(图 4)。估算出各生长参数为  $L_{\infty}=37.85$  cm,  $K=0.28$ , 根据 Pauly 经验公式得出  $t_0=-0.57$ , 由此得出其生长方程为:  $L_t=37.85 \times [1 - e^{-0.28(t+0.57)}]$ 。

通过体长频率求得渔获曲线(图 5), 选择最后 14 个点进行线性回归, 其回归曲线的斜率的绝对值即高眼鲈的总死亡系数, 为 1.69。通过渔获曲线求得捕捞选择性(图 6), 其开捕年龄为 1.48 龄, 对应的开捕体长为 12.68 cm。根据总死亡系数和 Pauly 经验公式算出的自然死亡系数(0.54), 求得捕捞死亡系数为 1.15, 开发率为 68.05%。

利用彼得生鱼体自然长度分布曲线法, 得出该群体年龄组成为 1~5 龄(图 7), 优势年龄为 1 龄与 2 龄, 其所占总数的百分比分别为 45.15% 与 40.23%。其他年龄组个体较少, 3、4 和 5 龄所占百分比分别为 12.61%、1.64% 和 0.38%。雌性群体的年龄组成为 1~5 龄, 其平均年龄为 2.48 龄; 雄性个体的年龄组成 1~4 龄, 平均年龄为 1.84 龄。

### 3.4 性比和性成熟

$\chi^2$  检验的结果显示(表 3), 各季节中, 只有夏季样品的雌雄性比与 1 : 1 差异显著 ( $p < 0.05$ ), 且雌性的数量显著多于雄性。体长小于 10 cm 的样品仅能鉴别出一尾为雌性; 在体长为 10~15 cm 的样品中, 只有

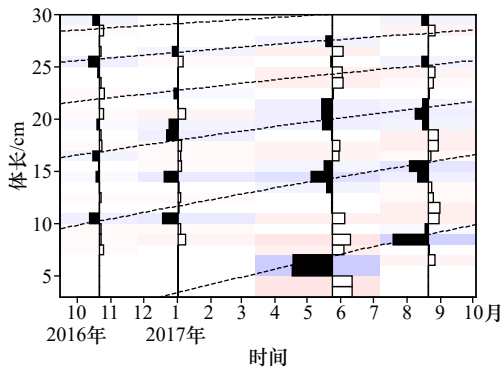


图4 山东近海高眼鲷的体长频率分布和使用ELEFAN拟合的生长曲线

Fig. 4 Length frequency distributions and growth curves estimated by ELEFAN of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

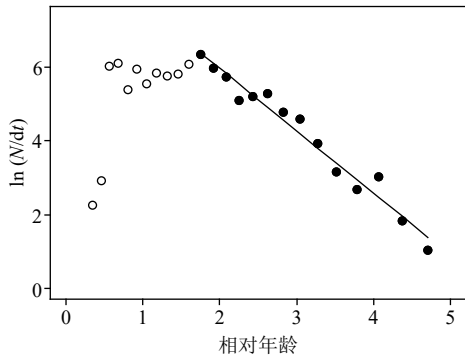


图5 山东近海高眼鲷体长转化的渔获曲线

Fig. 5 The length-converted catch curve of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

$N$ 为各体长组的尾数占总样品尾数的百分比,  $t$ 为相应体长组由下限生长到上限所需要的时间

$N$  represents the percentage of the number of each length group in the total number of samples,  $t$  represents the time needed for the corresponding length group to grow from the lower limit to the upper limit

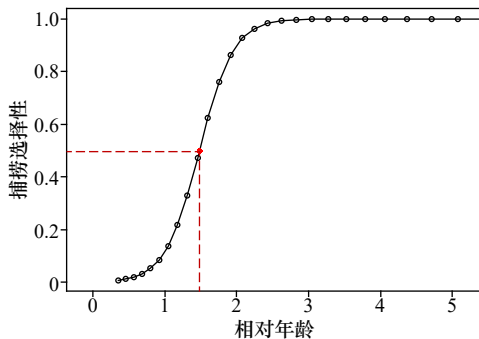


图6 山东近海高眼鲷的捕捞选择性曲线

Fig. 6 The catch selectivity curve of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

在秋季性比与1:1存在显著差异( $p < 0.05$ ), 此时雌性数量相比雄性显著偏少; 而体长大于15 cm的样品性

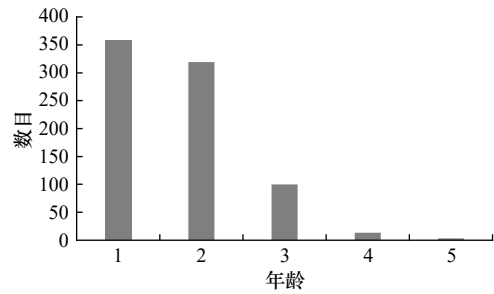


图7 山东近海高眼鲷年龄结构

Fig. 7 The age structure of population of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

表3 山东近海高眼鲷性比的季节变化

Table 3 Seasonal variations in sex ratios ( $\text{♀}:\text{♂}$ ) of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

季节	综合	体长组/cm			
		<10	10~15	15~20	>20
秋	0.54 : 1	♀(1)	0.04 : 1*	1.3 : 1	1.25 : 1
冬	1.13 : 1	—	0.52 : 1	2 : 1	1 : 1
春	1.89 : 1	—	1.05 : 1	1.2 : 1	♀(38)
夏	12 : 1*	—	5 : 1	5.5 : 1	♀(21)

注: \*表示存在显著差异( $p < 0.05$ ); “—”表示无数据; ♀和♂分别表示全为雌性和雄性, 括号内为尾数。

比与1:1均无显著差异, 且春季和夏季大于20 cm的样品仅存在雌性个体。

在秋季, 高眼鲷样品的性腺以II期为主(图8), 而性成熟个体(IV期及以上)较少, 占总数的11.96%; 冬季II、III期占优势, 无性成熟个体; 春季样品的性腺主要为III期, 性成熟个体所占比例仅为11.81%; 性成熟比例最高的季节出现在夏季, 扩大至57.69%。从秋季到夏季, II期比例明显减小, III期先升后降, 而IV期从春季开始呈逐渐上升趋势。

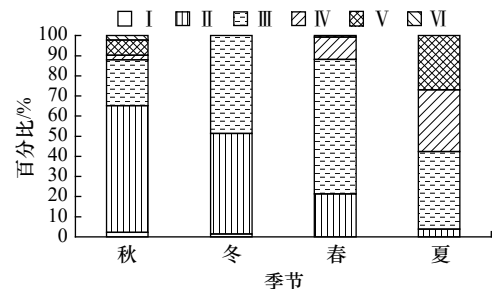


图8 山东近海高眼鲷性腺成熟度各期百分比组成

Fig. 8 Percentage of gonad developmental stage of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

高眼鲷  $GSI$  的分布范围在秋季较大(图9), 为1~278.9; 其次是夏季和春季, 分别为5.5~277.7和

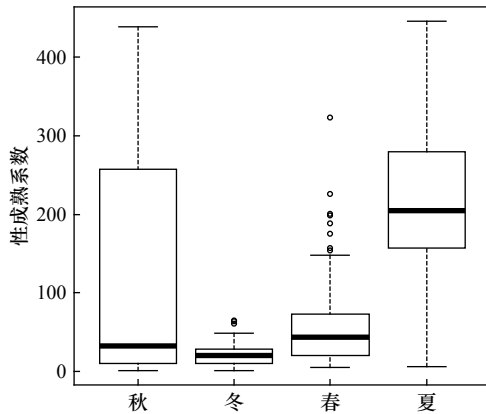


图9 山东近海高眼鲷性成熟系数变化

Fig. 9 Variations in gonadal somatic index of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

4.8~229.3; 而冬季最小, 为 1.3~56.9。平均性成熟系数在夏季较大, 而在其他季节差别很小, 顺序由大至小依次为夏季、春季、秋季、冬季。

方差分析的结果显示, 高眼鲷性成熟个体百分比与体长的关系无显著的雌雄差异 ( $p>0.05$ )。因此, 将雌、雄个体合并拟合其性成熟个体百分比与体长的关系曲线 (图 10), 符合逻辑斯谛曲线关系, 得出 50% 性成熟体长为 22.35 cm。

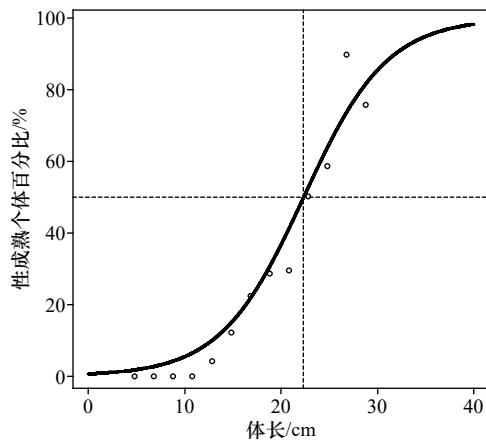


图 10 山东近海高眼鲷性成熟与体长的关系曲线

Fig. 10 Sexual maturity in relation to length for *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

### 3.5 相对资源密度及其时空分布特征

在 4 个航次的调查中, 高眼鲷的平均渔获量在秋季远多于其他季节 (表 4), 在冬季骤然下降, 随后在春、夏季缓慢上升。贡献率也是在秋季最大, 之后逐渐下降, 直至夏季降至最低。从秋季到夏季, 站位出现频率呈现先降后升再降的趋势, 且在春季达到最高。

高眼鲷分布区底层水温范围为 6.45~24.21℃ (表 5),

表 4 山东近海高眼鲷平均渔获量、贡献率和出现频率的季节变化

Table 4 Mean catch, the percentage in the total catch by mass and the occurrence frequency of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters.

季节	平均渔获量/kg·h <sup>-1</sup>	贡献率	出现频率
秋	7.57	1.61%	16.38%
冬	1.12	0.96%	15.82%
春	1.17	0.86%	20.90%
夏	2.78	0.61%	17.51%

主要集中在 6.45~19.06℃ 的水域; 分布区底层盐度范围为 19.77~33.26, 密集区在 31.82~33.10 的水域。

研究发现, 高眼鲷主要分布在 50 m 等深线以深的水域 (图 11), 其次为 30~50 m 的水深区域, 而 30 m 等深线以浅水域的资源量很低。高眼鲷相对资源密度的空间分布特征呈现明显的季节变化, 其中, 秋季的高眼鲷在东北部海域分布较多, 而冬、春季则主要分布于山东近海东南部。与冬季相比, 春季的高眼鲷有向近岸移动的趋势, 且分布较为分散, 在各个海域几乎均有分布。在夏季, 南北海域的高眼鲷资源分布相差不大, 且主要分布于 50 m 等深线以深的水域, 最高值出现在山东近海东北部。

## 4 讨论

### 4.1 高眼鲷种群结构的季节变化

本研究调查采集到的高眼鲷样品体长范围为 3.8~29.6 cm, 而 Shan 等<sup>[5]</sup>在 1985—2010 年黄海中南部采集的高眼鲷体长范围为 3.8~51.0 cm。鱼类的体长分布随生活环境的变化而变化, 鱼类的体长分布越宽, 越有助于水体中食饵的充分利用, 从而有助于鱼类数量的可持续补充<sup>[29]</sup>。本研究得出的生长系数  $K$  为 0.28, 略快于 1978—1985 年中国海域高眼鲷的生长系数  $K$  (0.22)<sup>[30]</sup>。多年来的过度捕捞, 使得高眼鲷中的大个体难以存活, 体长分布变窄, 且较高的水温会导致鱼类生长加快、个体小型化和肥满度升高<sup>[31-32]</sup>。张波和唐启升<sup>[33]</sup>在 2000 年 10—11 月和 2001 年 4 月对黄海 36°N 以南海域的调查中, 捕获的高眼鲷体长范围为 9~28 cm, 平均体长为 15.32 cm, 与本研究秋季和春季所获的样品相比, 范围近乎一致, 但平均体长却均大于本研究相应季节的测量值, 进一步反映了高眼鲷小型化的趋势。在本研究中, 高眼鲷的捕捞死亡系数 (1.15) 是自然死亡系数 (0.54) 的 2 倍多, 表明

表5 山东近海高眼鲷相对资源密度及其温盐分布的季节变化

Table 5 Seasonal variations in the relative stock density, temperature and salinity of the distribution area of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

季节	资源密度范围/kg·h <sup>-1</sup>	底层水温/°C		底层盐度	
		范围	主要范围	范围	主要范围
秋	0.007~140.352	7.06~19.76	18.56~19.06(87.74%)	19.77~33.26	31.92~32.07(68.23%)
冬	0.005~5.784	6.84~11.32	9.34~10.84(75.09%)	22.66~32.96	32.11~32.96(95.24%)
春	0.024~5.483	6.45~18.61	6.45~9.45(99.47%)	31.09~33.10	32.43~33.10(99.47%)
夏	0.032~13.985	6.55~24.21	8.05~12.55(97.09%)	31.22~33.10	31.82~32.42(77.49%)

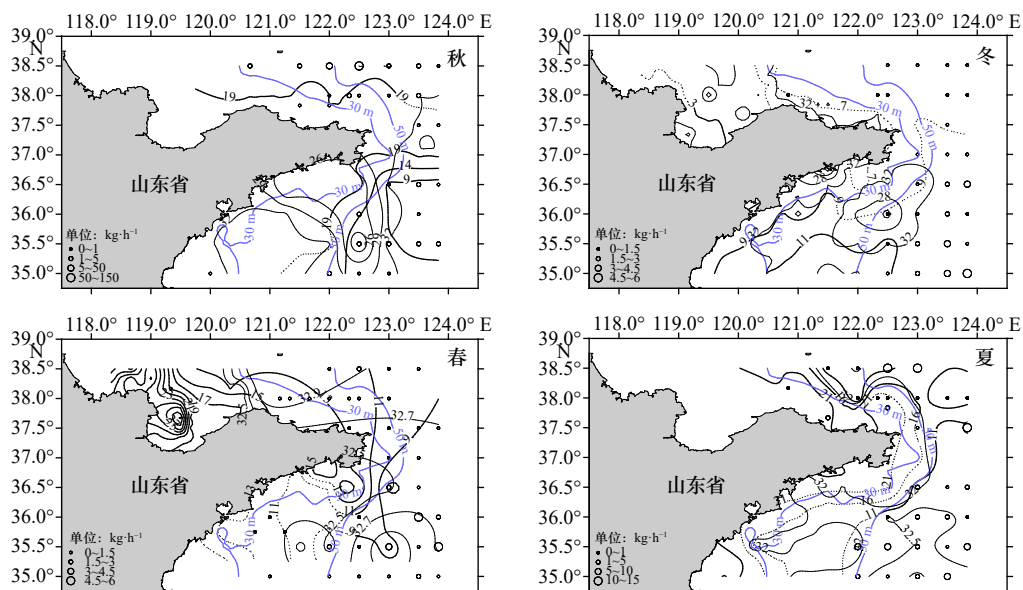


图11 山东近海高眼鲷相对资源密度的空间分布

Fig. 11 Spatial distributions of the relative stock density of *Cleisthenes herzensteini* in Shandong coastal waters

蓝线代表水深, 黑实线代表盐度, 黑虚线代表温度

Blue line represents water depth, black solid line represents salinity, black dot line represents temperature

山东近海高眼鲷资源的开发程度较高, 开发率高达68.05%, 已处于过度开发的状态。

在春季和夏季, 高眼鲷的体长分布均存在3个波峰, 可能是因为群体组成中存在3个年龄组, 即1龄、2龄和3龄组。根据计算得出的生长方程, 发现各年龄组对应的体长范围与体长分布图中的波峰基本吻合, 说明本研究得出的各生长参数是较为准确的。

世界鱼类数据库 (Fishbase) 对高眼鲷的贝叶斯分析显示, 其条件因子  $a$  和异速生长因子  $b$  的值分别为  $8.51 \times 10^{-3}$  ( $5.44 \times 10^{-3} \sim 13.31 \times 10^{-3}$ ) 和  $3.02$  ( $2.89 \sim 3.15$ )<sup>[34]</sup>。在本研究的结果中,  $a$  和  $b$  值分别为  $3.564 \times 10^{-3} \sim 9.244 \times 10^{-3}$  和  $3.119 \sim 3.492$ , 与世界鱼类数据库中的数值相比,  $a$  值偏小,  $b$  值偏大, 但总范围大体一致。 $a$  值可以反映鱼类种群所处生境的优良程度<sup>[35]</sup>, 从本研究得出的

较小的  $a$  值, 或许可以看出山东近海目前的环境状况欠佳。在饵料供应、水文等环境条件好的时候,  $a$  值较大, 此时鱼类的索饵行为更为活跃, 且  $a$  的大小也受产卵的影响, 产卵后  $a$  值会减小, 在性腺发育成熟时达到最高<sup>[36]</sup>, 本研究中的  $a$  值在春、秋季较大, 而在冬、夏季较小与这一规律是相符的。高眼鲷的  $b$  值显著大于3, 表示山东近海2016年10月至2017年8月的高眼鲷为正异速生长, 即每周增长率大于体长增长率, 身体趋于肥胖。天敌数量的下降, 可以使鱼类的异速生长因子提高<sup>[37]</sup>, 这可能是高眼鲷呈现正异速生长的原因之一。

高眼鲷在春季至秋季产卵, 其中4月下旬至5月中旬为主要产卵期<sup>[2]</sup>, 而本研究的结果却是高眼鲷在夏季的8月性成熟比例和程度最高, 可以得出其繁殖

期有向后推迟的现象。这可能是饵料不足等环境条件的恶化引起的。在饵料生物的供应状况较差时,鱼类的生长就会减缓,从而造成性成熟和繁殖期的延迟<sup>[22]</sup>。上世纪80年代,高眼鲈主要以鳀(*Engraulis japonicus*)和玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)为食<sup>[3]</sup>,然而在本世纪初,其优势饵料物种就已经变为太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)、脊腹褐虾(*Crangon affinis*)和红明樱蛤(*Moerella rutile*)等<sup>[7]</sup>,鱼类在捕食成分中所占比例相对较低。高眼鲈对优质饵料摄入的减少会影响能量的获得,从而改变其生长和资源量<sup>[7]</sup>。性比的变化是种群结构的一种反映,也是种群进行自然调节的一种方式<sup>[38]</sup>,性比的季节差异可能与环境和繁殖有关<sup>[39]</sup>。在本研究中,夏季高眼鲈的性腺发育最成熟,且雌性个体远多于雄性个体,据此可以推测出夏季可能为主要产卵期。

#### 4.2 高眼鲈的相对资源密度与分布

本研究调查的渤海区域,只有秋季和春季的各1个站位采集到高眼鲈,所在水深分别为35.00 m和17.65 m。山东近海渤海区的高眼鲈稀少,可能是高眼鲈的生活习性决定的。历史资料显示,高眼鲈产卵场位于辽东半岛附近的海域,以及山东半岛南部的青海和连青石渔场<sup>[2]</sup>,与本研究的结果大体一致,只是本研究发现烟威渔场可能也是高眼鲈的产卵分布区之一。高眼鲈1—3月在石岛东部海域越冬,纬度范围约为34°~39°N,水深主要为70~80 m,约3月开始生殖洄游,产卵后主要分散于30~60 m的深水区索饵,秋末冬初返回越冬地<sup>[2]</sup>。渤海区除了4个站位的水深为30~35 m,其余50个站位的水深均小于30 m。秋季有1个站位采到高眼鲈,可能是因为处于部分高眼鲈的索饵场。至于春季在黄河口浅水区捕到的3尾样品,或许是因为高眼鲈所产的卵为浮性卵,刚孵化后的幼鱼不具备游泳能力,需要经历数天的浮游生活<sup>[9]</sup>,

此阶段容易受到季风、洋流和风暴的影响,少量个体会漂流至传统栖息地以外的海域。Dou<sup>[40]</sup>在1984年对渤海鲆类生活史的调查中发现,5月在黄河口和滦河口附近有高眼鲈鱼卵分布,而王娇等<sup>[41-42]</sup>关于黄河口的调查则未采到高眼鲈个体,这反映出高眼鲈在生命早期阶段具有潜在的扩散能力,黄河口及其邻近海域是高眼鲈的潜在分布区。冬季,在水深50 m以浅的海域,仍有4个站位有高眼鲈分布,其中2个站位的水深甚至小于30 m,自西向东这4个站的底层水温分别为6.84℃、8.40℃、8.59℃和8.85℃,均低于该季节高眼鲈分布的主要底温范围,这些站位的高眼鲈可能正处于向深水区进行越冬迁移的途中。

秋季高眼鲈的平均渔获量和贡献率均高于其他季节,这可能与休渔制度有关。在2016年,35°N以北海域的伏季休渔期为6—8月,涵盖了整个夏季,这一时间段水温较高,饵料生物丰富,是高眼鲈生长旺盛的时期,且有大量的当年生补充群体索饵和育肥,因此高眼鲈的相对资源密度在秋季达到最高。休渔期之后,经过大规模的捕捞,高眼鲈的资源量迅速下降,直至冬季降至最低。而随着35°N以北海域2017年休渔期(5—8月)的到来,对高眼鲈的捕捞行为基本终止,其资源量又开始逐渐上升。

综上所述,山东近海高眼鲈的种群特征表现为体长分布狭窄、饵料条件恶化、产卵期延迟和过度捕捞等现象。饵料供应不足会导致相对资源密度的下降,且本研究显示休渔期前后高眼鲈资源量变化剧烈,捕捞强度的过大可能会加剧资源结构的脆弱程度,严重制约伏季休渔制度对资源恢复的长期生态效应<sup>[43]</sup>。鉴于此,在未来应进一步研究繁殖力、年际变化和饵料生物供应等特征,为山东近海高眼鲈资源的可持续利用提供科学参考,并且应加强对资源的管控,以维护高眼鲈种群的健康及稳定。

#### 参考文献:

- [1] 万瑞景,姜言伟. 黄海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼及其生态调查研究[J]. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 60-73.  
Wan Ruijing, Jiang Yanwei. Studies on the ecology of eggs and larvae of osteichthyes in the Yellow Sea[J]. Marine Fisheries Research, 1998, 19(1): 60-73.
- [2] 李思忠,王惠民. 中国动物志: 硬骨鱼纲·鲆形目[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 225-229.  
Li Sizhong, Wang Huimin. Fauna Sinica: Osteichthyes Pleuronectiformes[M]. Beijing: Science Press, 1995: 225-229.
- [3] 姜卫民,韦晟,孙建明. 黄海高眼鲈食性及摄食季节变化的研究[J]. 海洋水产研究, 1989(10): 9-15.  
Jiang Weimin, Wei Sheng, Sun Jianming. Feeding habits and seasonal variation of diet of *Cleithenes herzensteini* (Schmidt)[J]. Marine Fisheries Research, 1989(10): 9-15.
- [4] 刘静,陈咏霞,马琳. 黄渤海鱼类图志[M]. 北京: 科学出版社, 2015.  
Liu Jing, Chen Yongxia, Ma Lin. Fishes of the Bohai Sea and Yellow Sea[M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [5] Shan Xiujuan, Jin Xianshi, Zhou Zhipeng, et al. Stock dynamics of *Cleithenes herzensteini* in the central and southern Yellow Sea[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(5): 244-252.

- [6] Jin Xianshi, Xu Binduo, Tang Qisheng. Fish assemblage structure in the East China Sea and southern Yellow Sea during autumn and spring[J]. *Journal of Fish Biology*, 2003, 62(5): 1194–1205.
- [7] 张波. 黄海中部高眼鲷的摄食及随体长的变化[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(8): 1849–1854.  
Zhang Bo. Diet composition and ontogenetic variation in feeding habits of *Cleithenes herzensteini* in central Yellow Sea[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(8): 1849–1854.
- [8] 窦硕增, 杨纪明, 陈大刚. 渤海石鲷、星鲷、高眼鲷及焦氏舌鲷的食性[J]. *水产学报*, 1992, 16(2): 162–166.  
Dou Shuozeng, Yang Jiming, Chen Dagang. Food habits of stone flounder, spotted flounder, high-eyed flounder and red tongue sole in the Bohai Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1992, 16(2): 162–166.
- [9] 姜言伟. 高眼鲷(*Cleithenes herzensteini* Schmidt)的早期发育[J]. *海洋水产研究*, 1980(1): 105–113.  
Jiang Yanwei. The early life history of plaice, *Cleithenes herzensteini* (Schmidt)[J]. *Marine Fisheries Research*, 1980(1): 105–113.
- [10] 滕广亮, 单秀娟, 金显仕, 等. 黄海高眼鲷卵巢发育特征及卵径分布[J]. *渔业科学进展*, 2018, 39(1): 12–20.  
Teng Guangliang, Shan Xiujian, Jin Xianshi, et al. A study on the ovary-development characters and oocyte size-distribution of *Cleithenes herzensteini* in the Yellow Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(1): 12–20.
- [11] Xiao Yongshuang, Zhang Yan, Yanagimoto T, et al. Population genetic structure of the point-head flounder, *Cleithenes herzensteini*, in the northwestern Pacific[J]. *Genetica*, 2011, 139(2): 187–198.
- [12] Wang Yajun, Jiang Jiajun, Wang Xubo, et al. Isolation and characterization of twenty novel microsatellite markers of pointhead flounder (*Cleithenes herzensteini*)[J]. *Conservation Genetics Resources*, 2013, 5(1): 137–139.
- [13] 侯英民. 山东海情[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.  
Hou Yingmin. Sea Conditions in Shandong Province[M]. Beijing: China Ocean Press, 2010.
- [14] 陈大刚. 黄渤海渔业生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.  
Chen Dagang. Fishery Ecology in the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1991.
- [15] 吕振波. 山东近海经济生物资源调查与评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.  
Lü Zhenbo. Investigation and Evaluation of Economic and Biological Resources in Shandong Coastal Waters[M]. Beijing: China Ocean Press, 2010.
- [16] 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 12763.6-2007, 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. GB/T 12763.6-2007, Specifications for oceanographic survey—Part 6: marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [17] Keys A B. The weight-length relation in fishes[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1928, 14(12): 922–925.
- [18] 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.
- [19] Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II)[J]. *Human Biology*, 1938, 10(2): 181–213.
- [20] Pauly D, David N. ELEFAN I, a BASIC program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data[J]. *Meeresforschung*, 1981, 28(4): 205–211.
- [21] Pauly D. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula[R]//Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität No. 63. Kiel: Kiel University, 1979: 121–123.
- [22] 陈大刚. 渔业资源生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.  
Chen Dagang. Fishery Resources Biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997.
- [23] Pauly D. Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes[J]. *Fishbyte*, 1990, 8(3): 33–38.
- [24] Pauly D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1980, 39(2): 175–192.
- [25] 何宝全, 李辉权. 珠江河口棘头梅童鱼的资源评估[J]. *水产学报*, 1988, 12(2): 124–134.  
He Baoquan, Li Huiquan. Stock assessment of *Collichthys lucidus* in Pearl River Estuary[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1988, 12(2): 124–134.
- [26] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.  
Du Rongqian. Biostatistics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003.
- [27] 黄海水产研究所. 海洋水产资源调查手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981: 38–39.  
Yellow Sea Fishery Research Institute. Investigation Handbook of Marine Fisheries Resources Survey[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Press, 1981: 38–39.
- [28] Lysack W. 1979 Lake Winnipeg fish stock assessment program[R]. Winnipeg: Manitoba Department of Natural Resources, 1980.
- [29] Г. В. 尼科里斯基. 鱼类种群变动理论[M]. 黄宗强, 译. 北京: 农业出版社, 1982: 156–229.  
Николюский Г В. Theory of Fish Population Dynamics[M]. Huang Zongqiang, trans. Beijing: Agriculture Press, 1982: 156–229.
- [30] Chen Dagang, Liu Changan, Dou Shuozeng. The biology of flatfish (Pleuronectinae) in the coastal waters of China[J]. *Netherlands Journal of Marine Biology*, 1981, 19(1): 1–10.

- al of Sea Research, 1992, 29(1/3): 25–33.
- [31] 郭学武, 张波, 孙耀, 等. 真鲷幼鱼的摄食与生态转换效率——一种现场研究方法在室内的应用[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 26–31.  
Guo Xuewu, Zhang Bo, Sun Yao, et al. The consumption and ecological conversion efficiency of age-0 red sea bream (*Pagrosomus major*), the lab application of an *in situ* approach[J]. Marine Fisheries Research, 1999, 20(2): 26–31.
- [32] 李忠炉, 金显仕, 单秀娟, 等. 小黄鱼体长-体质量关系和肥满度的年际变化[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 602–610.  
Li Zhonglu, Jin Xianshi, Shan Xiujian, et al. Inter-annual changes on body weight-length relationship and relative fatness of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(3): 602–610.
- [33] 张波, 唐启升. 渤、黄、东海高营养层次重要生物资源种类的营养级研究[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(4): 393–404.  
Zhang Bo, Tang Qisheng. Study on trophic level of important resources species at high trophic levels in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea[J]. *Advances in Marine Science*, 2004, 22(4): 393–404.
- [34] Froese R, Pauly D. FishBase. World Wide Web electronic publication[EB/OL].[2017-10-15]. <http://www.fishbase.org/search.php>.
- [35] Ricker W E. Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters[M]. Oxford: Blackwell Scientific Press, 1968: 93-123.
- [36] 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.  
Dong Jing, Wang Chong, Tang Mingzhi, 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.
- [37] Stergiou K I, Moutopoulos D K. A review of length-weight relationships of fishes from Greek marine waters[J]. *Naga*, 2001, 24(1/2): 23–39.
- [38] 沈国英, 黄凌风, 郭丰, 等. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 69–70.  
Shen Guoying, Huang Lingfeng, Guo Feng, et al. Marine Ecology[M]. Beijing: Science Press, 2010: 69–70.
- [39] 孔啸兰, 江艳娥, 龚玉艳, 等. 南海中北部尾明角灯鱼渔业生物学特性的初步研究[J]. 南方水产科学, 2016, 12(4): 117–124.  
Kong Xiaolan, Jiang Yan'e, Gong Yuyan, et al. A preliminary study on fishery biology of *Ceratoscopelus warmingii* in the central and northern South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(4): 117–124.
- [40] Dou Shuozeng. Life history cycles of flatfish species in the Bohai Sea, China[J]. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1995, 34(1/3): 195–210.
- [41] 王娇, 张崇良, 薛莹, 等. 黄河口鱼类群落分类学多样性的研究[J]. 海洋学报, 2018, 40(4): 86–95.  
Wang Jiao, Zhang Chongliang, Xue Ying, et al. Taxonomic diversity of fish community in the Yellow River Estuary[J]. *Haiyang Xuebao*, 2018, 40(4): 86–95.
- [42] 王娇, 张崇良, 薛莹, 等. 黄河口及其邻近水域鱼类生态类群组成及其季节变化[J]. 中国海洋大学学报, 2019, 49(4): 41–51.  
Wang Jiao, Zhang Chongliang, Xue Ying, et al. Composition of ecological groups and their seasonal changes of fish in Yellow River Estuary and its adjacent waters[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2019, 49(4): 41–51.
- [43] 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 Jiahua, Lin Longshan, Ling Jianzhong, 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.

## Population structure and spatial distribution of *Cleisthenes Herzensteini* in Shandong coastal waters

Zhong Sijian<sup>1</sup>, Wang Jing<sup>1</sup>, Liu Shude<sup>2</sup>, Wang Sijie<sup>2</sup>, Ren Yiping<sup>1,3</sup>

(1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Shandong Hydrobios Resources Conservation and Management Center, Yantai 264003, China; 3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Based on the survey data from the bottom-trawl surveys in Shandong coastal waters in autumn (October 2016), winter (January 2017), spring (May 2017) and summer (August 2017), the seasonal variations of population structure and spatial distribution of *Cleisthenes Herzensteini* were studied. The results showed that the average length of *C. Herzensteini* was larger in autumn and winter, while the average mass was larger in summer and autumn. When the length is more than 15 cm, the seasonal variation of mass is larger, and the growth rate of mass is the biggest in summer. The ages of *C. Herzensteini* ranged from 1 to 5 years old, in which individuals of 1 and 2 years old accounted for 45.15% and 40.23% of the population, respectively. The parameters of the von Bertalanffy

growth equation,  $L_{\infty}$ ,  $K$  and  $t_0$ , were 37.85 cm, 0.28 and  $-0.57$ , respectively. The Pauly empirical formula evaluated the natural mortality to be 0.54. The total mortality, the fishing mortality, the exploitation ratio, the age of first capture and the length of first capture were 1.69, 1.15, 68.05%, 1.48 years old and 12.68 cm, respectively. In each season, only the ratio of male to female in summer was significantly different from that in 1:1 ( $p < 0.05$ ), and the number of females was significantly higher than that of males. 50% of the length of sexual maturity is 22.35 cm. The highest ratio of sexual maturity and the highest average coefficient of sexual maturity occur in summer. *C. herzensteini* mainly distributes in areas with bottom water temperature of 6.45–19.06°C, bottom salinity of 31.82–33.10 and depth of more than 50 m. Its average catch in autumn is much more than that in other seasons, which declines sharply in winter and then rises slowly. The *C. herzensteini* in Shandong coastal waters showed some phenomena, such as narrow length distribution, deterioration of food supply, delayed spawning period and over-exploited stock. The resources changed dramatically before and after the forbidden fishing period.

**Key words:** *Cleisthenes herzensteini*; population structure; relative stock density; spatiotemporal distribution; Shandong coastal waters