

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.19261

黄海玉筋鱼生物学特性的年际变化

洪泽洲, 张弛, 田永军, 叶振江, 刘琦

中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003

摘要: 鱼类的生长和死亡参数是实行渔业资源评估和管理的基础。根据 2002—2018 年在黄海采集的玉筋鱼 (*Ammodytes personatus*) 样品, 本研究估测了玉筋鱼在 3 个渔业利用时期(2000 年代初、2000 年代末和 2010 年代末, 在此分别称为早期、中期、近期)的生长和死亡参数。结果显示玉筋鱼生物学特性发生了显著的变化, 优势体长组由早期的 130~150 mm 减小到近期的 80~110 mm; 优势体重组由早、中期较为均匀的分布变为近期的以小个体为主; 优势年龄组从早期的 2 龄个体变为近期的当年生个体。玉筋鱼 3 个时期的 von Bertalanffy 生长方程的极限体长 (L_{inf}) 分别为 194.2 mm、179.6 mm、161.7 mm; 生长速率 K 分别为 0.31、0.42、0.47。残差平方和分析显示中期与近期的生长方程之间差异显著($P<0.05$), 与早期和中期相比, 近期极限体长下降, 生长速率上升。玉筋鱼近期春季、夏季和冬季的肥满度与早期相比均出现了下降。3 个时期总死亡率(Z)分别为 1.14、2.00 和 0.74; 开发率(E)分别为 0.69、0.78 和 0.32; 自然死亡率(M)分别为 0.35、0.44 和 0.50。玉筋鱼自大规模开发至今经历了过度开发并且趋向于低龄化、小型化, 这一变化可能是过度捕捞导致的。

关键词: 黄海; 玉筋鱼; 生长; 死亡; 肥满度

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)06-0701-08

玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)属冷温性鱼种, 分布在中国和韩国的黄海沿岸, 北至日本岛的南部^[1-2]。这一物种被认为是连接浮游生物和海洋捕食性动物的重要饵料鱼种, 并且影响着黄海生态系统^[3]。由于鳀资源的日益减少, 玉筋鱼作为替代物种在食物网中开始扮演更加重要的角色^[4]。玉筋鱼是典型的 r 选择物种, 最大体长为 212 mm^[1], 最长寿命为 3 龄^[5], 群体年龄结构简单, 有夏眠的习性^[6]。玉筋鱼的生活史特征决定了其对于渔业和环境变化的敏感性。

玉筋鱼对季节性渔业有着重要贡献, 并且在水产养殖中被作为鱼粉原料^[7], 是山东近海渔业的优势物种^[8]。针对黄海玉筋鱼的大规模捕捞开始于 1999 年并且当年产量达到了 50 万 t^[9], 然而在 2003 年捕获量迅速减少到 10 万 t^[10], 2009 年捕

获量出现上升, 随后在 2011 年又开始下降, 并且在近些年进一步减少到 3 万 t^[11]。有研究显示捕捞会诱导鱼类生物学特性发生变化^[12], 因此玉筋鱼生物学特性可能由于捕捞发生变化。

国内外的学者对玉筋鱼均进行了相关的研究, 日本学者对日本海域玉筋鱼的早期生长^[13-15]、夏眠的影响因素^[6]、繁殖潜力和补充量^[16]进行了报道; 韩国学者研究了黄海和东海玉筋鱼产卵区域并利用分子技术进行了世系的划分^[17], 美国学者对华盛顿州内陆水域近岸玉筋鱼的分布进行了研究^[18]。在国内, 有学者研究了不同大小和不同饵料条件下玉筋鱼的摄食、生长和转化效率^[19-20], 2001 年黄海玉筋鱼体长-体重关系^[21], 黄海北部产卵场玉筋鱼繁殖习性^[22]和渔业开发初期玉筋鱼资源及利用状况^[5]等。近些年来, 对于玉筋鱼的

收稿日期: 2019-09-16; 修订日期: 2019-10-25.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900902).

作者简介: 洪泽洲(1995-), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源研究. E-mail: hongzezhou@stu.ouc.edu.cn

通信作者: 田永军, 教授, 从事渔业海洋学研究. E-mail: yjtian@ouc.edu.cn

研究集中在种群结构和基因方面,如利用微卫星标记揭示西北太平洋玉筋鱼种群结构及遗传多样性^[23],研究玉筋鱼群体遗传结构及线粒体 *ATP6* 基因的选择压力^[24]、玉筋鱼线粒体基因组^[25]等。

随着中国近海渔业资源的逐步衰退,对渔业资源进行评估和科学管理迫在眉睫。目前,同为经济鱼种的小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、大头鳕(*Gadus macrocephalus*)和黄鮟鱇(*Lophius litulon*)等已有了生物学特性长期变化的研究^[26-27],而玉筋鱼生物学特性的变化却尚未见报道。笔者根据 2002—2018 年在黄海进行的资源调查数据,对玉筋鱼部分生物学特性及变化进行了研究,以期为玉筋鱼资源的评估和科学管理提供数据参考和理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

玉筋鱼样品来自 2002—2018 年在黄海进行的采样调查以及码头随机采样,共计 1074 尾(表 1)。其中 2002 年 3—8 月及 11—12 月和 2003 年 1—3 月在青岛各码头采样,样品来自在黄海拖网作业的渔船,2002 年共计 210 尾,2003 年共计 33 尾;2009 年 11 月在青岛沙子口附近海域调研采样共计 68 尾,2011 年 3 月及 5 月在海州湾进行拖网专项调查,采样共计 31 尾;2017 年 1 月、5 月及 8 月样品来自山东近海资源调查,共计 188 尾;2017 年 4 月、5 月及 12 月和 2018 年 6 月、7 月及 10 月在青岛各港口采样,样品来自在黄海拖网作业的渔船,共计 544 尾,本研究调查所用拖网与码头渔船拖网网目尺寸一致,因此将样品合并后分析。采样区域为 119.75°E~122.5°E, 35.25°N~6.75°N(图 1)。为了更好地比较玉筋鱼生物学变化,依据渔业利用时期和样品采集时间将样品分为早期(2002 年、2003 年)、中期(2009 年、2011 年)和近期(2017 年、2018 年) 3 个时期,进而比较玉筋鱼生物学特性的变化状况。在实验室测量样品全长、体长和体重等,摘取样品的矢耳石后用纯水清洗,风干后保存在 2 号离心管中,用于年龄的鉴定。

表 1 玉筋鱼采样信息

Tab. 1 Sample information of *Ammodytes personatus*

时期 sampling period	年份 year	数量 sample size	体长/mm body length	体重/g body weight
早期 early	2002, 2003	243	58–164	0.60–17.38
中期 middle	2009, 2011	99	73–165	1.43–19.40
近期 recent	2017, 2018	732	67–162	0.73–12.96

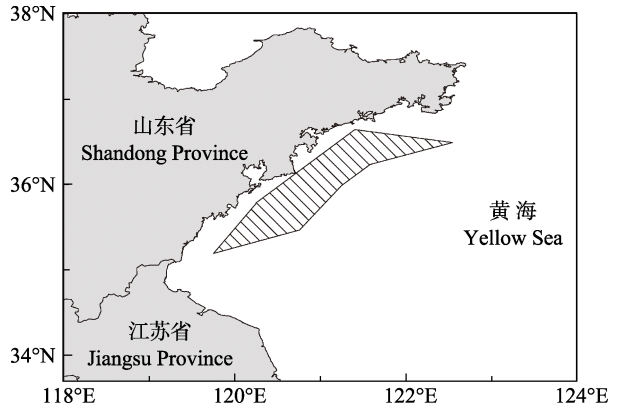


图 1 黄海玉筋鱼样品采集区域示意图(阴影区域)
Fig. 1 Sampling sites of *Ammodytes personatus* in the Yellow Sea (shadow area)

1.2 样品的年龄鉴定

已有的研究表明玉筋鱼耳石具有清晰的年轮特征,年轮在潜沙期间形成(图 2)。在光线的照射下,可以看到狭窄的不透明带和较宽的透明带,其中不透明带即为玉筋鱼年轮,第一年轮与核之间有明显的轮距^[10]。统一选用左耳石用于年龄鉴定,浸于纯水当中以增强拍摄效果,使用 Nikon SMZ18 体视镜拍摄耳石照片(20 倍)。为了便于计算,统一认定年轮均形成于 7 月 1 日,根据个体耳石年轮数目并结合其捕获月份确定具体月龄,再

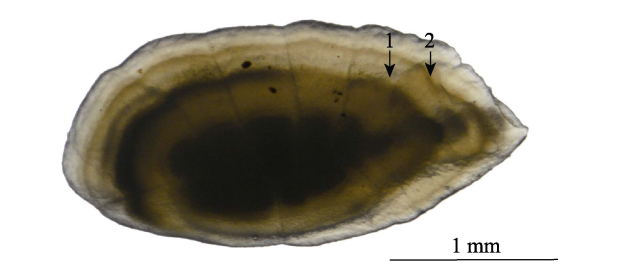


图 2 玉筋鱼耳石图片
箭头代表年轮; 1、2 分别指第一年轮和第二年轮。
Fig. 2 Otolith of *Ammodytes personatus*
Arrows indicate the ring marks. 1 and 2 refer to the first annual ring and the second annual ring, respectively.

将其换算为年龄。每个耳石按盲读原则相隔 1 个月读取两次, 结果一致的数据可以直接应用, 不一致的进行检查并且重新读数, 一致后方可用于后续分析。

1.3 生长

利用 von Bertalanffy 生长方程拟合玉筋鱼各个时期年龄与生长关系:

$$L_t = L_{\text{inf}} \times [1 - e^{-k \times (t - t_0)}]$$

式中, L_t 为 t 龄时的体长; L_{inf} 为极限体长; K 为生长速率, 即生长曲线的平均曲率; t_0 为理论上体长为 0 时的年龄。使用残差平方和分析(AoRSS)对不同时期玉筋鱼之间的生长曲线进行比较^[28]。由于通过耳石进行年龄的鉴定且由月龄进行转化, 年龄组较多, 能够覆盖玉筋鱼整个生命周期。

采用下列公式计算玉筋鱼肥满度:

$$K_f = 100 \times \frac{W}{L^3}$$

式中, K_f 为肥满度, W 为测量体重, L 为测量体长^[29]。鱼体肥满度表示能量储备, 从种群角度来看, 更高的肥满度代表着更高的生存概率和繁殖成功率^[30-31]。为排除年龄不同可能对肥满度造成的影响, 统一选取 1 龄个体计算肥满度。由于玉筋鱼的特殊生活习性, 秋季玉筋鱼处于潜沙状态, 样品难以获取, 中期样品数量较少, 因此仅对早期和近期春季、夏季和冬季样品的肥满度通过 T 检验进行比较。

1.4 死亡系数和开发率

自然死亡系数(M)根据 Pauly 的经验公式进行估算:

$$\ln M = -0.0066 - 0.279 \times \ln L_{\text{inf}} + 0.6543 \times \ln K + 0.4364 \times \ln T$$

式中, M 为自然死亡系数, L_{inf} 为极限体长, K 为生长速率, T 为该鱼种栖息水层的平均温度($^{\circ}\text{C}$)^[32]。

根据线性渔获量曲线法估算总死亡系数:

$$\ln \frac{C(L_1, L_2)}{\Delta t(L_1, L_2)} = C - Z \times \left(\frac{t(L_1) + t(L_2)}{2} \right)$$

式中, Z 为总死亡系数, C 为总渔获尾数, $C(L_1, L_2)$ 表示在 (L_1, L_2) 体长组的渔获尾数, $\Delta t(L_1, L_2)$ 表示体长 L_1 和 L_2 所对应的年龄差, $t(L_1)$ 和 $t(L_2)$ 分别表示体长 L_1 和 L_2 所对应的年龄, K 为生长参数^[33]。

开发率指捕捞死亡占总死亡的比例, 通过以下公式估算:

$$E = F/Z$$

式中, E 为开发率, F 为捕捞死亡系数($F = Z - M$, 即捕捞死亡等于总死亡系数减去自然死亡系数), Z 为总死亡系数。

上述数据处理、相关统计分析以及表格和绘图等用 Excel 2016、R3.5.2 (R Development Core Team; <http://www.R-project.org>)和 SPSS17.0 软件共同完成。

2 结果与分析

2.1 群体组成

样本体长范围 58~165 mm, 体重范围 0.6~19.4 g, 由 0~3 龄个体组成(图 3)。早期优势体长组为 130~150 mm, 中期为 120~130 mm, 近期为 80~110 mm, 优势体长组体长下降明显。早期体重集中在 2~14 g, 中期体重则集中在 4~14 g, 两个时期体重分布也较为接近; 近期则集中在 2~8 g, 与前两个时期相比显著减小。早期年龄分布较为均匀, 2 龄个体为优势年龄组; 与早期相比中期 1 龄个体占比明显上升并且成为优势年龄组, 2 龄和 3 龄个体占比有所下降, 当年生个体与早期相比并无明显变化, 中期群体出现了一定程度的低龄化; 近期当年生个体占比显著升高, 超过 50%, 当年生个体和 1 龄个体成为优势年龄组, 占比达到 88%, 玉筋鱼群体优势年龄组年龄较之前显著下降。

2.2 生长方程

渔业开发各个时期玉筋鱼的生长曲线如图 4 所示, von Bertalanffy 生长方程分别为:

$$\text{早期: } L_t = 194.2 \times [1 - e^{-0.31 \times (t - 1.54)}]$$

$$\text{中期: } L_t = 179.6 \times [1 - e^{-0.42 \times (t - 1.00)}]$$

$$\text{近期: } L_t = 161.7 \times [1 - e^{-0.47 \times (t - 1.42)}]$$

结果显示近期的极限体长相较于早期和中期有了明显的下降, 从早期的 194.2 mm 下降到近期的 161.7 mm; 而生长速率 K 则不断上升, 从早期的 0.31 上升到近期的 0.47, 增长了约 50%。

残差平方和分析(AoRSS)结果表明, 玉筋鱼近期的 von Bertalanffy 生长曲线和中期的生长曲

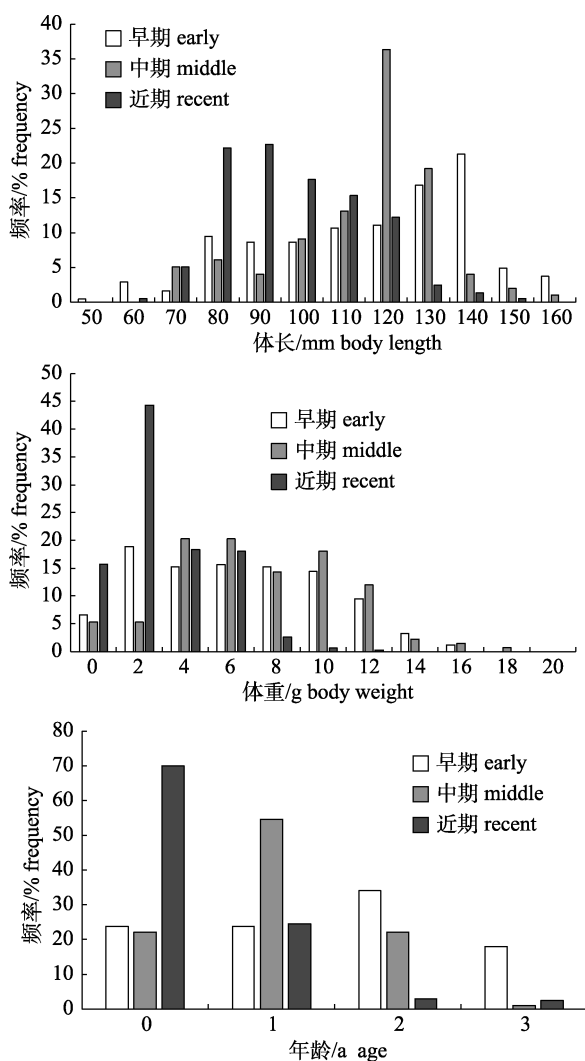


图 3 2002—2018 年玉筋鱼的体长(a)、
体重(b)和年龄组成(c)

早期指 2000 年代初, 中期指 2000 年代末,
近期指 2010 年代末。

Fig. 3 The body length (a), body weight (b) and age composition(c) of samples for the three periods
Early period refers to early 2000s; middle period refers to late 2000s; recent period refers to late 2010s.

线之间存在显著差异($df=23$, $F=3.14$, $P<0.05$); 而早期和中期生长曲线之间没有显著差异($df=23$, $F=1.50$, $P>0.05$); 早期和近期生长曲线之间没有显著差异($df=35$, $F=2.10$, $P>0.05$)。

2.3 肥满度

玉筋鱼肥满度在春季达到最高值, 在夏季下降, 在冬季达到最低值, 肥满度变化明显(图 5), 玉筋鱼各个季节肥满度近期与早期相比均较小, 早期和近期两个时期之间在夏季和冬季均差异显

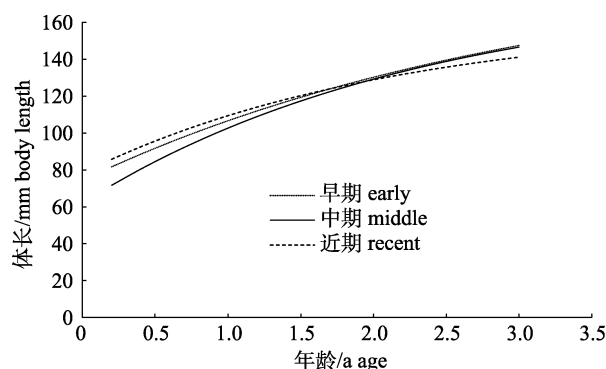


图 4 玉筋鱼的 von Bertalanffy 生长曲线

早期指 2000 年代初, 中期指 2000 年代末,
近期指 2010 年代末。

Fig. 4 The von Bertalanffy growth curves fitted to age-length data of *Ammodytes personatus*
Early period refers to early 2000s; middle period refers to late 2000s; recent period refers to late 2010s.

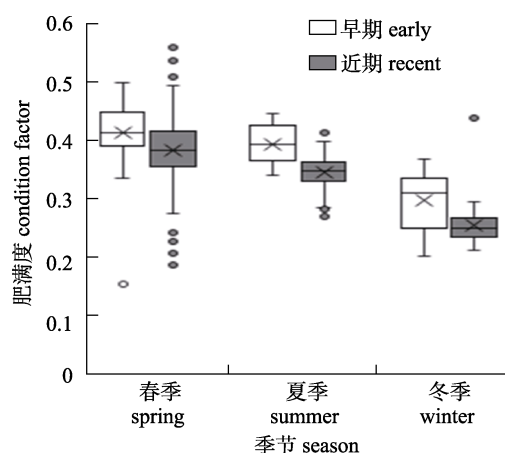


图 5 玉筋鱼早期和近期的肥满度

早期指 2000 年代初, 近期指 2010 年代末。

Fig. 5 The condition factor of *Ammodytes personatus* for the early and recent periods
Early period refers to early 2000s, and recent period refers to late 2010s.

著($P<0.05$), 而在春季则不显著($P>0.05$)。

2.4 死亡系数和开发率

根据体长组成资料的线性渔获量曲线估算总死亡系数 Z (图 6), 其值为对应的线性方程斜率的负值, 得到各个时期玉筋鱼的总死亡系数, 早期 Z 为 1.14, 中期 Z 为 2.00, 近期 Z 为 0.74。

将各个时期的 von Bertalanffy 生长方程参数代入 Pauly 经验公式进行推算, 得到各个时期的玉筋鱼自然死亡系数, 早期 M 为 0.35, 中期 M 为 0.44, 近期 M 为 0.50。

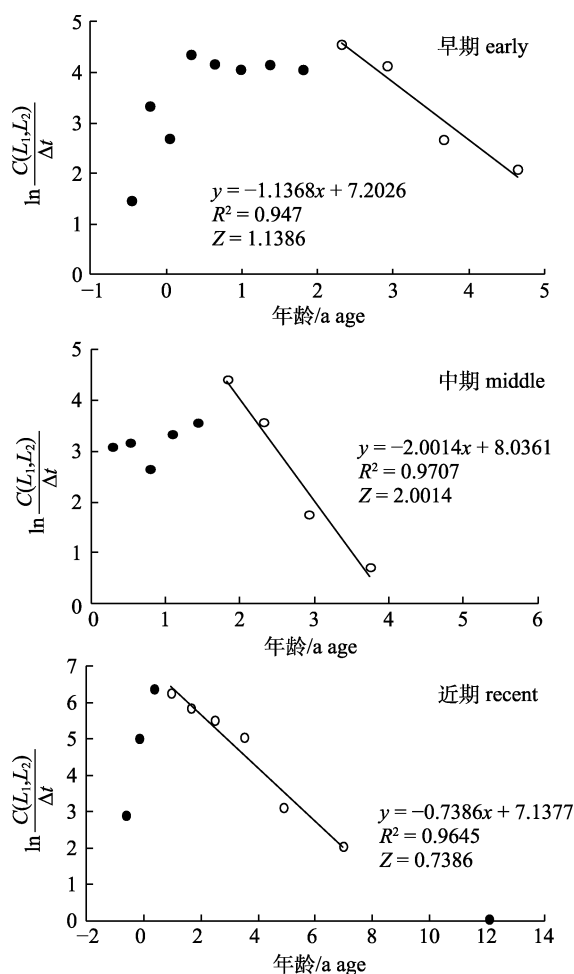


图 6 根据渔获量曲线估算玉筋鱼总死亡系数 Z

早期指 2000 年代初, 中期指 2000 年代末, 近期指 2010 年代末。

Fig. 6 The estimation of total mortality (Z) of *Ammodytes personatus* based on the catch curve

Early period refers to early 2000s, middle period refers to late 2000 s, and recent period refers to late 2010s.

根据 $E=F/Z$ 可得, 玉筋鱼早期的开发率 E 为 0.69, 中期的开发率 E 为 0.78, 近期的开发率 E 为 0.32。

3 讨论

研究结果显示黄海玉筋鱼生物学特性自大规模开发以来发生了显著的变化, 玉筋鱼的优势体长和体重显著减小, 当年生个体在年龄结构中的比重不断上升, 优势年龄组由早期的 2 龄个体变为近期的当年生个体, 这一变化趋势说明玉筋鱼群体趋向于小型化和低龄化。von Bertalanffy 生长方程的结果显示玉筋鱼极限体长不断下降, 生长

速率不断上升, 玉筋鱼倾向更小的体长和更快的生长速度。

捕捞影响了玉筋鱼的体型、年龄结构和生长速度。黄海玉筋鱼最大寿命为 3 龄^[5], 群体年龄结构简单, 因此对捕捞较为敏感。玉筋鱼在早期和中期开发率均超过 0.5, 开发率介于 0~0.5 的群体为轻度开发, 开发率介于 0.5~1 的群体为过度开发, 玉筋鱼在经历了早期和中期的过度开发后在近期开发率才有所下降。与其他经济鱼种相比, 玉筋鱼简单的年龄结构使得群体更为脆弱, 对捕捞压力的承受能力也变弱, 在捕捞过程中高龄及体型较大的个体被捕获, 导致群体结构主要由低龄和小型个体构成; 有研究表明捕捞会导致鱼体生长速率提高^[34-35], 为了保证繁衍, 寿命短的鱼种倾向于早熟而提高自身繁殖力^[36-37], 通过缩短生长时间降低发育至性成熟的死亡风险^[38], 但是个体竞争力和后代存活率会有所降低^[39]。此外日本学者研究发现温度的升高会导致玉筋鱼夏眠时间延长, 生长速度加快, 生长时间缩短, 促进个体小型化^[40-41]。中国海的水温在 1990 年代以后呈现增高趋势, 但由于黄海复杂的温度变化, 环境对玉筋鱼生长的影响机制还有待进一步的研究。

玉筋鱼近期 3 个季度的肥满度与早期相比均存在下降的趋势。这是由于捕捞使得近期当年生个体占比上升, 其低肥满度的特性导致群体肥满度与早期相比较低。另一方面, 玉筋鱼肥满度的季节变化在早期和近期情况一致, 即春季最高, 夏季降低, 冬季最低。这是因为玉筋鱼产卵后在春季已经开始索饵, 以应对到来的夏眠, 此时肥满度最高; 夏季部分大龄个体进入夏眠, 群体中当年生个体比率上升^[6], 群体肥满度下降; 冬季玉筋鱼刚刚结束夏眠, 夏眠期间玉筋鱼停止摄食, 只依靠自身储存的脂肪^[42], 消耗了大量能量, 群体肥满度最低。

玉筋鱼自然死亡率的不断升高与群体的低龄化和肥满度下降有关。一方面, 当年生个体占比上升, 由于其高自然死亡率的特点, 玉筋鱼种群的自然死亡率不断升高; 另一方面肥满度的降低导致玉筋鱼缺乏足够的能量以度过夏眠, 对于玉筋鱼而言更高的肥满度代表着更加丰富的能量和更

好的营养状况,性成熟的概率能够得到提高^[43]。由于玉筋鱼在夏眠期间不摄食,主要依靠夏眼前储存的脂肪提供能量,因此较高的肥满度可以帮助其更好地度过潜沙期,降低自然低死亡率,反之自然死亡率则会上升。与早期相比,近期玉筋鱼肥满度的降低与自然死亡率的升高验证了这一点。

玉筋鱼营养价值高,味道鲜美,可用于食品加工、鱼粉加工和冷冻品加工^[5],对于近海渔业有着重要贡献。此外,作为连接浮游生物和海洋捕食性动物的重要饵料鱼种,玉筋鱼在黄海生态系统有着承上启下的独特的生态作用^[4]。研究结果显示玉筋鱼趋向于小型化和低龄化;这一趋势与小黄鱼、带鱼、蓝点马鲛等我国近海的主要经济鱼种相一致,显示了过度捕捞的影响。此外,年龄结构的单一化容易导致种群波动变大。尤其是在我国近海大多鱼种资源严重衰退的背景下,渔获量较高的玉筋鱼越来越成为主要的目标鱼种之一。捕捞对玉筋鱼群体影响重大,玉筋鱼渔获量自大规模开发以来迅速下降,未来玉筋鱼的渔获量不容乐观,对这一资源的保护和管理迫在眉睫。

本研究梳理了玉筋鱼的生长、死亡、肥满度等生物学特性自大规模开发后所发生的变化,结果显示了过度捕捞的影响。由于采样的局限性,缺乏连续多年的样品且中期样品数量较少,导致 3 个时期的划分有一定的主观成分。但是各个时期采集到的样品基本能够覆盖玉筋鱼整个生活史,因此样品能够代表玉筋鱼各个时期的生物学状况。玉筋鱼作为黄海为数不多的冷温种,受 20 世纪 90 年代以后水温上升以及捕捞压力增加的综合影响,需要得到重视和保护,以便实现稳定的开发并维持地区生态系统的稳定。在未来研究中希望加入叶绿素、温度、世代和年龄等多种影响因素,通过模型模拟各项影响因素对玉筋鱼生长变化的影响机制,更好地预测未来玉筋鱼的资源变化情况。

参考文献:

- [1] Hashimoto H. Population structure of the sandeel around Japan[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1984, 50(8): 1357-1365.
- [2] Umeyoshi Y, Soharu T, Hirofumi H, et al. Fishes and fisheries of the East China and Yellow Seas[M]. Tokyo Metropolitan: Tokai University Press, 2007: 1262.
- [3] Hashimoto H, Tsuyoshi K. Population studies of the sandeel, *Ammodytes personatus* (Girard), in Sendai Bay and Its Neighborhood[J]. Tohoku Journal of Agricultural Research, 1981, 31(4): 173-197.
- [4] Kang B, Liu M, Huang X X, et al. Fisheries in Chinese seas: What can we learn from controversial official fisheries statistics?[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2018, 28(3): 503-519.
- [5] Tang M Z, Lian D J, Mu K Q. An analysis on the status of Pacific sury *Cololabis saira* exploitation and utilization[J]. Marine Fisheries, 2003, 25(4): 192-193. [唐明芝, 连大军, 慕康庆. 玉筋鱼资源开发利用现状分析[J]. 海洋渔业, 2003, 25(4): 192-193.]
- [6] Tomiyama M, Yanagibashi S. Effect of temperature, age class, and growth on induction of aestivation in Japanese sandeel (*Ammodytes personatus*) in Ise Bay, central Japan[J]. Fisheries Oceanography, 2004, 13(2): 81-90.
- [7] Kim Y H, Kang Y J, Ryu D K. Growth of *Ammodytes personatus* in Korean Waters 1, daily growth increment, early growth and spawning time in juvenile stage[J]. The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science, 1999, 32(5): 550-555.
- [8] Lu Z B, Xu B Q, Li F, et al. Structure and distribution of fish resources in the Yellow Sea off Shandong during spring and autumn 2006[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(6): 1335-1342. [吕振波, 徐炳庆, 李凡, 等. 2006 年春、秋季黄海山东海域鱼类资源结构与数量分布[J]. 中国水产科学, 2011, 18(6): 1335-1342.]
- [9] Chen C H, Tang M Z. *Ammodytes personatus* resources in the Yellow Sea and its fisherie[J]. Marine Fisheries, 2000, 22(2): 71-72, 70. [陈昌海, 唐明芝. 黄海的玉筋鱼资源及其渔业[J]. 海洋渔业, 2000, 22(2): 71-72, 70.]
- [10] Chen C H. *Ammodytes personatus* resources in the Yellow Sea and its sustainable utilization[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(5): 603-607. [陈昌海. 黄海玉筋鱼资源及其可持续利用[J]. 水产学报, 2004, 28(5): 603-607.]
- [11] Fishery and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. National fishery statistics[DB/OL]. <http://www.fishdata.cn/web/moa/fishTotal/default.aspx>. [农业农村部渔业渔政管理局. 国家渔业统计数据[DB/OL]. <http://www.fishdata.cn/web/moa/fishTotal/default.aspx>.]
- [12] Shan X J, Hu Z J, Shao C W, et al. Progress in the study of fishing-induced evolution of fish biological characteristics[J]. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(3): 165-175 [单秀娟, 胡芷君, 邵长伟, 等. 捕捞诱导鱼类生物学特征进化研究进展[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(3): 165-175.]
- [13] Takayuki K, Hiroaki O, Mami S. Growth in larval and juvenile Japanese sand lance *Ammodytes personatus* in eastern

- Seto Inland Sea determined by daily growth increments in otoliths[J]. Marine Fisheries Research Center, 2007, 71(4): 263-269.
- [14] Tsukamoto Y, Yamada H, Zenitani H. Microincrements of otoliths of the Japanese sand lance *Ammodytes personatus* during early life stages[J]. Fisheries Science, 2002, 68(5): 1158-1160.
- [15] Nanjo N, Takatsu T, Imura K, et al. Feeding, somatic condition and survival of sand lance *Ammodytes* sp. larvae in Mutsu Bay, Japan[J]. Fisheries Science, 2017, 83(2): 199-214.
- [16] Yamada H. Reproductive potential and recruitment of sand lance *Ammodytes personatus* in Ise Bay, central Japan[J]. Fisheries Science, 2009, 75(4): 851-861.
- [17] Kim J K, Lee S J, Lee W C, et al. Restricted separation of the spawning areas of the two lineages of sand lance, *Ammodytes personatus*, in the Yellow and East Seas and taxonomic implications[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2015, 61: 319-328.
- [18] Selleck J R, Gibson C F, Shull S, et al. Nearshore distribution of Pacific sand lance (*Ammodytes personatus*) in the inland waters of Washington State[J]. Northwestern Naturalist, 2015, 96(3): 185-195.
- [19] Liu Y, Sun Y. Comparing the food consumptions, growths and conversion efficiencies of sand lance (*Ammodyte personatus* Girard) between two weight groups[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2005(1): 73-78. [刘勇, 孙耀. 不同大小玉筋鱼摄食、生长和生态转换效率的比较[J]. 海洋湖沼通报, 2005(1): 73-78.]
- [20] Liu Y, Sun Y, Tang Q S. Comparison of food consumption, growth and conversion efficiencies among sand lance (*Ammodyte personatus* Girard) fed with different kinds of food[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(3): 260-266. [刘勇, 孙耀, 唐启升. 不同饵料条件下玉筋鱼摄食、生长和生态转换效率的比较[J]. 中国水产科学, 2005, 12(3): 260-266.]
- [21] 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.]
- [22] Chen C H. A preliminary study on the reproductive characters of *Ammodytes personatus* in the Yellow Sea[J]. Marine Fisheries Research, 2007, 28(2): 15-22. [陈昌海. 黄海玉筋鱼繁殖习性的初步研究[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(2): 15-22.]
- [23] Ren G J, Hu J J, Gao T X, et al. Population structure and genetic diversity of *Ammodytes personatus* in the North-western Pacific revealed by microsatellites markers[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2015, 61: 303-311.
- [24] Deng Z C, Wang X L, Xu S Y, et al. Population genetic structure and selective pressure on the mitochondrial ATP6 gene of the Japanese sand lance *Ammodytes personatus* Girard[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2019, 99(6): 1409-1416.
- [25] Li N, Song N, Gao T. The complete mitochondrial genome of Japanese *Ammodytes personatus* (Perciformes, Ammodytidae)[J]. Mitochondrial DNA, 2015, 26(5): 781-782.
- [26] 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]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2011: 109-110. [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]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011: 109-110.]
- [27] Li Z L, Shan X J, Jin X S, et al. Interannual variations in the biological characteristics, distribution and stock density of anglerfish *Lophius litulon* in the central and southern Yellow Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(12): 4007-4015. [李忠炉, 单秀娟, 金显仕, 等. 黄海中南部黄鮟鱇生物学特征及其资源密度的年际变化[J]. 生态学报, 2015, 35(12): 4007-4015.]
- [28] Chen Y, Jackson D A, Harvey H H. A comparison of von bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1992, 49(6): 1228-1235.
- [29] Bolger T, Connolly P L. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition[J]. Journal of Fish Biology, 1989, 34(2): 171-182.
- [30] Stevenson R D, Woods W A. Condition indices for conservation: New uses for evolving tools[J]. Integrative and Comparative Biology, 2006, 46(6): 1169-1190.
- [31] Rätz H J, Lloret J. Variation in fish condition between Atlantic cod (*Gadus morhua*) stocks, the effect on their productivity and management implications[J]. Fisheries Research, 2003, 60(2-3): 369-380.
- [32] 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.
- [33] Zhan B Y. Fish Stock Assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 104-107. [詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 104-107.]
- [34] van Walraven L, Mollet F M, van Damme C J G, et al. Fisheries-induced evolution in growth, maturation and reproductive investment of the sexually dimorphic North Sea plaice (*Pleuronectes platessa* L.)[J]. Journal of Sea Research, 2010, 64(1-2): 85-93.
- [35] Shan X J, Li Z L, Dai F Q, et al. Seasonal and annual varia-

- tions in biological characteristics of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in the central and southern Yellow Sea[J]. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(6): 7-16. [单秀娟, 李忠炉, 戴芳群, 等. 黄海中南部小黄鱼种群生物学特征的季节变化和年际变化[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(6): 7-16.]
- [36] Silva A, Faria S, Nunes C. Long-term changes in maturation of sardine, *Sardina pilchardus*, in Portuguese waters[J]. Scientia Marina, 2013, 77(3): 429-438.
- [37] Morbey Y E, Mema M. Size-selective fishing and the potential for fisheries-induced evolution in lake whitefish[J]. Evolutionary Applications, 2018, 11(8): 1412-1424.
- [38] Conover D O, Munch S B. Sustaining fisheries yields over evolutionary time scales[J]. Science, 2002, 297(5578): 94-96.
- [39] Swain D P. Life-history evolution and elevated natural mortality in a population of Atlantic cod (*Gadus morhua*)[J]. Evolutionary Applications, 2011, 4(1): 18-29.
- [40] Hashimoto H. Population ecology of Japanese sandeel[J]. Journal of the Faculty of Applied Biological Science Hiroshima University, 1991, 302: 135-192.
- [41] Kodama J. Studies on the structure of population and the ecology of sand-lance, *Ammodytes personatus* (Girard), in the coastal waters of Miyagi prefecture[J]. Bulletin of Miyagi Prefectural Fisheries Experimental Station, 1980(10): 1-40.
- [42] Inoue A, Takamori S, Kuniyuki K, et al. Studies on the fishery biology of sand lance *Ammodytes personatus* Girard[J]. Bulletin of the Naikai Regional Fisheries Research Laboratory, 1967, 25: 1-335.
- [43] Morgan M J. The relationship between fish condition and the probability of being mature in American plaice (*Hippoglossoides platessoides*)[J]. ICES Journal of Marine Science, 2004, 61(1): 64-70.

Interannual variation in biological characteristics of sand lance (*Ammodytes personatus*) in the Yellow Sea

HONG Zezhou, ZHANG Chi, TIAN Yongjun, YE Zhenjiang, LIU Qi

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

Abstract: Growth and mortality parameters of fishes constitute the basis of fishery assessments and management. In this study, growth parameters from three time periods (“early”, “middle”, and “recent”) were studied based on sand lance *Ammodytes personatus* samples collected from 2002 to 2018 in the Yellow Sea. Early period refers to early 2000s, middle period refers to late 2000s, and recent period refers to late 2010s. The results showed that the biological characteristics of sand lance had changed significantly throughout this period. The dominant body length decreased from 130–150 mm in the early period to 80–110 mm in the recent period. Body weight composition changed from a uniform distribution in the early and middle periods to those of small individuals in the recent period. The dominant age group changed from 2-year-old individuals in the early period to individuals born in the current year in the recent period. The L_{inf} of von Bertalanffy growth equations for the early period, middle period, and recent period were 194.2 mm, 179.6 mm, and 161.7 mm, respectively, and the K growth rates were 0.31, 0.42, and 0.47 in the early, middle, and recent periods, respectively. Significant differences were observed in the von Bertalanffy growth models ($P < 0.05$) between the middle period and recent period. Compared with the previous two periods, the L_{inf} of the recent period was significantly decreased, and the K growth rate increased rapidly. The condition factors of sand lance in the spring, summer, and winter of the recent period were decreased compared to the same seasons in the early period. The total mortality rates (Z) of the three periods were 1.14, 2.00, and 0.74, respectively, the fishing development rates (F) of the three periods were 0.69, 0.78, and 0.32, respectively, and the natural mortality rates (M) of the three periods were 0.35, 0.44, and 0.50, respectively. Sand lance have been over-exploited since its large-scale development and fish tended to be smaller and younger in recent sampling efforts. Such changes may be caused by overfishing.

Key words: Yellow Sea; *Ammodytes personatus*; growth; mortality; condition factor

Corresponding author: TIAN Yongjun. E-mail: yjtian@ouc.edu.cn