

文章编号: 1674-5566(2014)05-0669-06

长江刀鲚繁殖群体的生长特性

董文霞, 唐文乔, 王磊

(上海海洋大学水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 刀鲚 (*Coilia nasus*) 是一种具有多种生活史类型的中小型鱼类, 溯江洄游中的刀鲚也是目前长江下游最重要的经济鱼类之一。为评估刀鲚渔业生物学特征的变化趋势, 分析了2012年5月采自长江靖江段的458尾刀鲚繁殖群体样本。结果显示, 刀鲚繁殖群体由1~4龄组成, 其中2~3龄个体占85.81%; 体长14.2~38.9 cm, 平均(25.72±4.08) cm; 体重9.2~208.4 g, 平均(69.59±33.73) g; 体长与体重关系式 $W = 0.0028L^{3.0866}$ ($R^2 = 0.9153$); 平均丰满度为 0.38 ± 0.08 。依据生长方程 $L_t = 40.82[1 - e^{-0.31(t+0.55)}]$ 和 $W_t = 262.59[1 - e^{-0.31(t+0.55)}]^3$, 求得渐近体长 L_∞ 为40.82 cm, 渐近体重 W_∞ 为262.59 g, 体重生长的拐点出现在2.99龄的 $W_t = 77.66$ g。与20世纪70年代的研究结果相比, 长江刀鲚繁殖群体中补充群体和低龄龄余群体的比例显著增加, 低龄化和小型化趋势明显, 丰满度下降, 资源衰退严重, 但生长潜力依然存在。应采取降低对繁殖群体的捕捞强度、保护产卵场等积极措施来保护这一珍贵的渔业资源。

研究亮点: 目前对长江洄游生态型刀鲚的研究主要集中在资源动态、种群结构和繁殖生物学特征等方面, 但对繁殖群体的渔业生物学特征变化趋势还缺乏探究。本文分析了长江刀鲚繁殖群体的体长、体重组以及年龄结构, 建立了生长方程, 评估了生长特性及其变化趋势, 为保护和合理利用这一珍贵渔业资源提供了基础生物学数据。

关键词: 刀鲚; 繁殖群体; 年龄结构; 生长特性; 长江

中图分类号: Q 959.4

文献标志码: A

刀鲚 (*Coilia nasus*) 又名长颌鲚, 隶属于鲱形目 (Clupeiformes) 鲱科 (Engraulidae), 主要分布在中国、日本和朝鲜半岛^[1-3]。现有研究认为, 分布于长江的刀鲚包括两种生态类型, 一类为洄游生态型, 春季性成熟后从河口溯江而上进入长江中下游的江、湖中产卵繁殖, 孵化后的幼鱼随江水返海肥育; 另一类为淡水定居生态型, 主要生活在长江中下游及其附属的太湖、巢湖等湖泊中^[4-10]。渔业上, 定居型刀鲚是低值渔品, 而溯江洄游中的刀鲚是名贵鱼类, 自古就被称为“长江三鲜”之一。

我国学者曾于20世纪七八十年代对长江刀鲚做过较大规模的资源调查和渔业生物学分析^[11-13]。近年来也有不少学者对洄游生态型刀

鲚的资源动态、种群结构和繁殖生物学特征等方面做过研究, 但对繁殖群体的渔业生物学特征变化趋势还缺乏探究^[14-20]。本文分析了刀鲚繁殖群体的年龄结构及生长特性, 旨在为这一珍贵鱼类的渔业资源评估及合理利用提供生物学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2012年5月5日至7日, 在长江的江苏靖江段 (图1), 跟随3艘持有刀鲚捕捞证的专业渔船, 共采集刀鲚样本458尾。样本经冰块包埋后带回实验室, 保存于-40℃冰柜中。

1.2 年龄分析

根据我们先期建立的刀鲚矢耳石重量与年

收稿日期: 2014-03-21 修回日期: 2014-05-11

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203065); 青草沙水库邻近水域生态修复专项(D08006-12-0082); 高等学校博士学科点专项科研基金(20123104110006)

作者简介: 董文霞(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类学。E-mail: wwen2011@126.com

通信作者: 唐文乔, E-mail: wqtang@shou.edu.cn

龄的关系式鉴定年龄^[21]。测量样本体长(精确至 0.1 cm)和体重(精确至 0.1 g),将除去包膜和黏液后的左侧矢耳石在蒸馏水中漂洗 2~3 次,转入 60 °C 烘箱中烘烤 24 h,于干燥器中冷却后,用电子天平称量,精确到 0.1 mg。

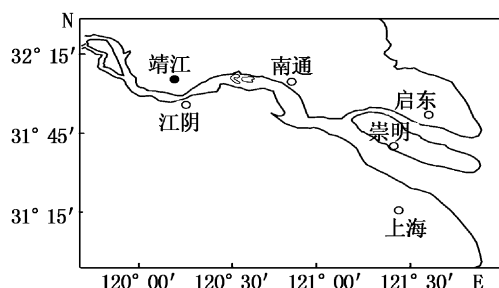


图 1 刀鲚样本的采样点

Fig. 1 Collection site of *Coilia nasus*

年龄的计算公式为:

$$W_0 = -0.7027 + 4.6002A \quad (1)$$

式中: W_0 为矢耳石重(mg); A 为年龄(龄)。

1.3 生长特性分析

体长与体重关系用公式(2)拟合:

$$W = aL^b \quad (2)$$

式中: W 为体重(g); L 为体长(cm); a 、 b 为通过回归分析得出的常数和指数,其中 b 值可反映鱼体的生长特征。

丰满度 K (%) 的计算公式为:

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

式中: W 为体重(g); L 为体长(cm)。

体长相对增长率(g_L)计算公式为:

$$g_L = (L_2 - L_1) / L_1 (t_2 - t_1) \quad (4)$$

体重相对增长率(g_W)计算公式为:

$$g_W = (W_2 - W_1) / W_1 (t_2 - t_1) \quad (5)$$

生长指标(G_{It})的计算公式为:

$$G_{It} = (\lg L_2 - \lg L_1) / 0.4343 L_1 (t_2 - t_1) \quad (6)$$

式中: L_2 、 L_1 和 W_2 、 W_1 分别为时间 t_2 、 t_1 时的体长和体重。

用 von Bertalanffy 生长方程分别描述体长与年龄、体重与年龄的关系:

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}] \quad (7)$$

$$W_t = W_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^3 \quad (8)$$

式中: L_t 为年龄 t 时的预测体长; L_∞ 为渐近体长; W_t 为年龄 t 时的预测体重; W_∞ 为渐近体重; k 为生长系数; t_0 为理论体长为零时的年龄。根据所得生长方程分别求取体长、体重的生长速度方程

和体重的生长加速度方程以及生长的拐点年龄(t_i)^[22]。

所有数据均用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 软件处理。

2 结果

2.1 年龄组成

所分析的 458 尾刀鲚样本包括 1~4 龄 4 个年龄组。其中, 1 龄组 5 尾, 占全部样本的 1.09%; 2 龄组 188 尾, 占 41.05%; 3 龄组 205 尾, 占 44.76%; 4 龄组 60 尾, 占 13.10%。可见, 2 龄组和 3 龄组是优势群体, 两者合计占整个刀鲚繁殖群体的 85.81%。

2.2 体长与体重的关系

2.2.1 体长、体重分布

458 尾个体的体长范围为 14.2~38.9 cm, 平均为 (25.72 ± 4.08) cm, 主要集中在 20.0~32.0 cm, 占整个群体的 88.21% (图 2); 体重范围为 9.2~208.4 g, 平均为 (69.59 ± 33.73) g, 其中 88.65% 的个体处于 20.0~120.0 g 这一区间 (图 3)。

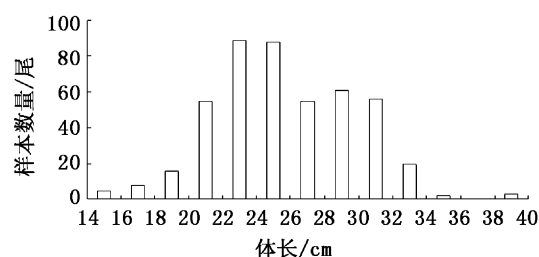


图 2 刀鲚繁殖群体的体长分布 ($n=458$)

Fig. 2 Body length distribution of reproductive population of *Coilia nasus*

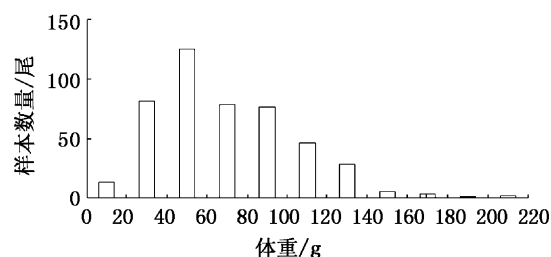


图 3 刀鲚繁殖群体的体重分布 ($n=458$)

Fig. 3 Body weight distribution of reproductive population of *Coilia nasus*

表 1 列出了各年龄组的体长和体重情况。以年龄为自变量, 对各年龄组的体长和体重进行

单因素方差分析,结果表明,各龄组的体长及体重间均具有极显著差异($P < 0.01$)。

表 1 不同年龄组刀鲚繁殖群体的体长、体重分布

Tab.1 Body length and body weight distribution in different age group of reproductive population of *Coilia nasus*

年龄组/a	样本数/尾	体长/cm		体重/g	
		均值 ± 标准误	变幅	均值 ± 标准误	变幅
I	5	15.72 ± 1.42	14.2 ~ 17.7	13.80 ± 5.76	9.2 ~ 23.6
II	188	22.39 ± 2.15	14.9 ~ 30.1	42.62 ± 12.99	10.2 ~ 79.0
III	205	27.47 ± 2.78	21.3 ~ 38.9	80.70 ± 22.97	32.3 ~ 159.6
IV	60	30.97 ± 2.21	21.4 ~ 35.1	120.77 ± 27.86	59.7 ~ 208.4

2.2.2 体长与体重关系式

依据 458 尾样本的实测体长和体重,用幂函数 $W = aL^b$ 进行拟合,求得体长与体重相关式为 $W = 0.0028L^{3.0866}$,其中 $R^2 = 0.9153$,拟合度较好。图 4 是体长与体重的相关曲线图。

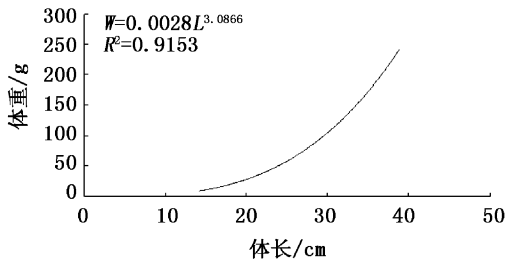


图 4 刀鲚繁殖群体的体长-体重关系 ($n = 458$)

Fig.4 Relationship between body-length and body-weight of reproductive population of *Coilia nasus*

2.2.3 丰满度

458 尾个体的平均丰满度为 0.38 ± 0.08 ($0.15 \sim 1.51$),其中 1 龄组为 0.34 ± 0.05 ($0.31 \sim 0.43$);2 龄组为 0.37 ± 0.04 ($0.17 \sim 0.47$);3 龄组为 0.38 ± 0.05 ($0.15 \sim 0.52$);4 龄组为 $0.42 \pm$

0.18 ($0.29 \sim 1.51$)。ANOVA 分析显示,只有 4 龄组与其他各龄组之间的丰满度存在显著性差异($P < 0.05$),1 ~ 3 龄组相互之间的丰满度均不具有显著差异($P > 0.05$)。各龄组丰满度分布见图 5。

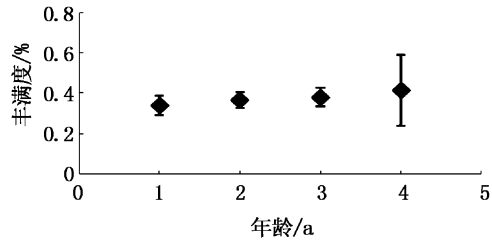


图 5 刀鲚繁殖群体的丰满度分布 ($n = 458$)

Fig.5 Fatness distribution of reproductive population of *Coilia nasus*

2.3 生长特性

2.3.1 相对生长率与生长指标

表 2 列出了所分析刀鲚群体的相对生长率与生长指标。由该表可见,3 龄以前体长、体重的相对生长率均较大,生长指标高,表明其生长较快;3 龄以后相对生长率和生长指标均有所降低。

表 2 刀鲚繁殖群体的相对生长率和生长指标

Tab.2 Relative growth rate and growth index of reproductive population of *Coilia nasus*

年龄/a	标本数/尾	体长/cm			体重/g	
		均值	相对生长率/%	生长指标	均值	相对生长率/%
I	5	15.72			13.8	
II	188	22.39	42.43	5.56	42.62	208.84
III	205	27.47	22.69	4.58	80.7	89.35
IV	60	30.97	12.74	3.29	120.77	49.65

2.3.2 生长方程

由于体长与体重关系式参数 b 接近 3,故可采用 von Bertalanffy 生长方程进行拟合。经运算求得渐近体长 L_{∞} 和渐近体重 W_{∞} 分别为 40.82

cm 和 262.59 g, $k = 0.31, t_0 = -0.55$,拟合的体长生长方程为 $L_t = 40.82 [1 - e^{-0.31(t+0.55)}]$ 、体重生长方程为 $W_t = 262.59 [1 - e^{-0.31(t+0.55)}]^3$ 。图 6 为根据生长方程绘制的体长和体重生长曲线。

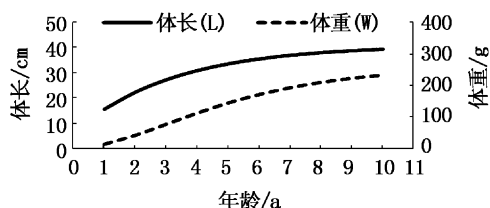


图6 刀鲚繁殖群体的体长和体重生长曲线
Fig. 6 The growth curve of body length and body weight of reproductive population of *Coilia nasus*

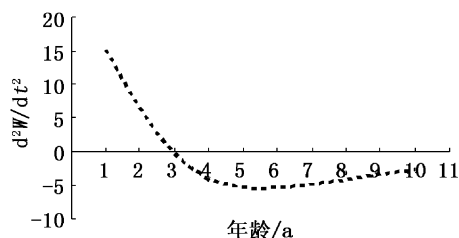


图8 刀鲚繁殖群体的体重生长加速度曲线
Fig. 8 The growth acceleration rate curve of body weight of reproductive population of *Coilia nasus*

2.3.3 生长速度和生长加速度

体长和体重生长曲线反映了刀鲚生长过程的总和,为了解其在生长过程中的具体变化,将体长和体重生长方程对 t 求导,分别得到体长、体重生长速度方程 $dL/dt = L_{\infty} k e^{-k(t-t_0)}$ 和 $dW/dt = 3W_{\infty} k e^{-k(t-t_0)} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^2$ 。再将体重生长速度方程 (dW/dt) 对 t 求导,得到体重生长加速度方程 $d^2W/dt^2 = 3W_{\infty} k^2 e^{-k(t-t_0)} [1 - e^{-k(t-t_0)}] [3e^{-k(t-t_0)} - 1]$,并由此方程求得生长拐点处的年龄 t_i 为 2.99 龄,相应的 $W_i = 77.66$ g。图 7 和图 8 分别为生长速度曲线和体重生长加速度曲线。

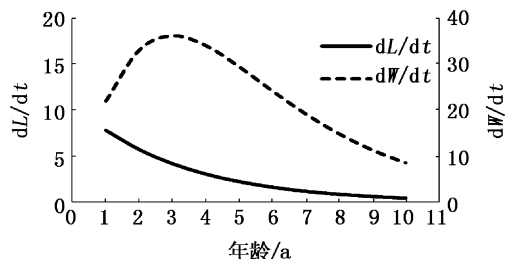


图7 刀鲚繁殖群体的体长和体重生长速度曲线
Fig. 7 The growth rate curve of body length and body weight of reproductive population of *Coilia nasus*

3 讨论

3.1 长江刀鲚繁殖群体的体长与体重变化

洄游型刀鲚是长江中下游的重要经济鱼类,其繁殖群体的资源状况一直受到学者们的关注^[11-12,15,23]。20 世纪 70 年代初,长江刀鲚繁殖群体的平均体长和平均体重分别为 31.1 cm 和 113.9 g^[11-12]。90 年代初以后,平均体长和体重为 29.2 cm 和 94.3 g,虽然体长降低有限,但体重下降却很明显^[15]。本研究获得的长江刀鲚繁殖群体,平均体长 25.7 cm,平均体重仅 69.6 g,相比 20 世纪 70 年代,平均体长下降了 17.4%,平均体重下降达 38.9%。表 3 列出了平均体长和平均体重的分析数据,可以看出,最近 40 年来长江刀鲚繁殖群体出现了明显的个体小型化趋势。本研究所分析的样本平均丰满度仅 0.38,相较于 20 世纪 70 年代的 0.41 也有明显的下降^[11]。但从生长方程运算求得的渐近体长和渐近体重看, L_{∞} 和 W_{∞} 也能达到 40.82 cm 和 262.59 g,表明其生长潜力依然存在。

表3 不同时期长江刀鲚繁殖群体的体长和体重的比较
Tab. 3 Comparison of body length and body weight of reproductive population of *Coilia nasus* in the Yangtze River at different periods

采样地点	采样时间	样本数/尾	体长/cm		体重/g		文献
			范围 (均值 ± 标准误)	优势体长 (百分比/%)	范围 (均值 ± 标准误)	优势体重 (百分比/%)	
江阴至湖口	1973-1975 年	4 127	18.0 ~ 40 (31.1)	29.1 ~ 35.0 (64.7%)	20.0 ~ 280 (113.9)	91.0 ~ 160.0 (56.9%)	[11]
南通至安庆	1993-2002 年	1 500	(29.2 ± 4.5)	24.0 ~ 36.0 (85.0%)	(94.3 ± 46.6)	50.0 ~ 110.0 (57.3%)	[15]
安徽无为	2006 年	100	18.3 ~ 40.1 (29.3)	-	20.0 ~ 235.0 (95.1)	-	[18]
长江口	2010-2012 年	774	(29.4 ± 3.5)	-	(99.0 ± 37.0)	-	[23]
江苏靖江	2012 年	458	14.2 ~ 35.1 (25.7 ± 4.1)	20.0 ~ 32.0 (88.2%)	9.2 ~ 208.4 (69.6 ± 33.7)	20.0 ~ 120.0 (88.7%)	本文

3.2 长江刀鲚繁殖群体的年龄结构

研究表明,洄游型刀鲚最小 1 龄即性成熟,但大部分个体需要 2 龄才成熟,一生中可以多次繁殖^[11-12]。资料显示,20 世纪 70 年代初长江刀鲚繁殖群体的年龄结构包括 6 个年龄组,其中 3~4 龄个体占 71.1%,1~2 龄个体仅占 22.9%^[11]。表明这一时期的繁殖群体中多次性成熟的剩余群体占优势,而初次性成熟的补充群

体所占比例较小,但随后年龄结构变得简单并且低龄个体逐渐增多(表 4)。本研究结果显示,虽然繁殖群体包括了 4 个年龄组,但 2 龄和 3 龄组分别占了 41.05% 和 44.76%,出现了明显的低龄化,补充群体和低龄剩余群体已占绝对优势。表明长江刀鲚繁殖群体已出现了严重的资源衰退,应采取诸如降低对繁殖群体的捕捞强度、保护产卵场等积极措施来保护这一珍贵的渔业资源。

表 4 不同时期长江刀鲚繁殖群体的年龄结构比较

Tab.4 Comparison of age structure of reproductive population of *Coilia nasus* in the Yangtze River at different periods

采样地点	采样时间	样本数/尾	年龄组成	优势龄组/a	文献
江阴至湖口	1973-1975 年	4127	1~6	3~4(70.4%)	[11]
南通至安庆	1993-2002 年	1500	1~4	2(89.1%)	[15]
安徽无为	2006 年	100	1~6	2~3(72.0%)	[18]
靖江至芜湖	2009 年	299	1~4	2~3(98.3%)	[19]
江苏靖江	2012 年	458	1~4	2-3(85.8%)	本文

参考文献:

- [1] 张世义. 中国动物志(硬骨鱼纲): 鲟形目, 海鲢目, 鲱形目, 鼠鱗目[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 148-156.
- [2] 袁传宓, 秦安龄, 刘仁华, 等. 关于长江中下游及东南沿海各省的鲚属鱼类种下分类的探讨[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1980(3): 67-77.
- [3] 袁传宓, 秦安龄. 我国近海鲚鱼生态习性及其产量变动状况[J]. 海洋科学, 1984(5): 35-37.
- [4] CHENG Q Q, LU D R. PCR-RFLP analysis of cytochrome b gene does not support *Coilia ectenes taihuensis* being a subspecies of *Coilia ectenes*[J]. Journal of Genetics, 2005, 84(3): 307-310.
- [5] 程起群, 温俊娥, 王云龙, 等. 刀鲚与湖鲚线粒体细胞色素 b 基因片段多态性及遗传关系[J]. 湖泊科学, 2006, 18(4): 425-430.
- [6] MA C Y, CHENG Q Q, ZHANG Q Y, et al. Genetic variation of *Coilia ectenes* (Clupeiformes: Engraulidae) revealed by the complete cytochrome b sequences of mitochondrial DNA [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2010, 385: 14-19.
- [7] 唐文乔, 胡雪莲, 杨金权. 从线粒体控制区全序列变异看短颌鲚和湖鲚的物种有效性[J]. 生物多样性, 2007, 15(3): 224-231.
- [8] 许志强, 葛家春, 黄成, 等. 基于颌骨长度和线粒体 Cytb 序列变异探讨短颌鲚的分类地位[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(3): 242-246.
- [9] LIU J X, GAO T X, WANG Y J, et al. Sequence Comparison of Partial Cytochrome b Genes of Two *Coilia* species [J]. Journal of Ocean University of China, 2005, 4(1): 85-88.
- [10] 郭弘艺, 魏凯, 唐文乔, 等. 基于矢耳石形态特征的中国鲚属鱼类种类识别[J]. 动物分类学报, 2010, 35(1): 127-134.
- [11] 长江流域刀鲚资源调查协作组. 长江流域刀鲚资源调查报告[R]. 1977: 1-179.
- [12] 袁传宓, 林金榜, 刘仁华, 等. 刀鲚的年龄和生长[J]. 水生生物学集刊, 1978, 6(3): 285-298.
- [13] 徐芳南, 孙超白, 童远瑞, 等. 长江流域刀鲚生殖洄游的“生物指标”[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1978(3): 85-91.
- [14] 刘文斌. 中国鲚属 4 种鱼的生化和形态比较及其系统发育的研究[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 558-565.
- [15] 张敏莹, 徐东坡, 刘凯, 等. 长江下游刀鲚生物学及最大持续产量研究[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 694-698.
- [16] YANG J, ARAI T, LIU H, et al. Reconstructing habitat use of *Coilia mystus* and *Coilia ectenes* of the Yangtze River estuary, and of *Coilia ectenes* of Taihu Lake, based on otolith strontium and calcium [J]. Journal of Fish Biology, 2006, 69(4): 1120-1135.
- [17] 何为, 李家乐, 江芝娟. 长江刀鲚性腺的细胞学观察[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(3): 292-296.
- [18] 万全, 赖年悦, 李飞, 等. 安徽无为为长江段刀鲚生殖洄游群体年龄结构的变化分析[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(4): 60-65.
- [19] 郑飞, 郭弘艺, 唐文乔, 等. 溯河洄游的长江刀鲚种群的年龄结构及其生长特征[J]. 动物学杂志, 2012, 47(5): 24-31.
- [20] 陈文银, 李家乐, 练青平. 长江刀鲚性腺发育的组织学研

- 究[J]. 水产学报, 2006, 30(6): 773-777.
- [21] 郭弘艺, 唐文乔. 长江口刀鲚矢耳石重量与年龄的关系及其在年龄鉴定中的作用[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 347-352.
- [22] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 34-63.
- [23] 刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等. 长江口刀鲚渔汛特征及捕捞量现状[J]. 生态学杂志, 2012, 31(12): 3138-3143.

Growth characteristics of reproductive population of *Coilia nasus* in the Yangtze River

DONG Wen-xia, TANG Wen-qiao, WANG Lei

(Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: *Coilia nasus* is a kind of mid-small-sized fish with resident and migration ecotypes. The anadromous population has long been recognized as very important commercial aquatic products in the lower reaches of the Yangtze River. To evaluate the fishery biological characteristics, we analyzed 458 specimens of *Coilia nasus* collected at Jingjiang section of the Yangtze River in fishing season, in May, 2012. The results showed that the spawning stock included 1-4 years old groups with 85.81% of age 2 to 3 years. The body length ranged from 14.2 to 38.9 cm with an average of (25.72 ± 4.08) cm and the body weight varied from 9.2 to 208.4 g with an average of (69.59 ± 33.73) g. Body length and body weight were fitted into the function $W = 0.0028L^{3.0866}$ ($R^2 = 0.9153$), The average fatness was only 0.38 ± 0.08 . Based on the von Bertalanffy growth equation: $L_t = 40.82[1 - e^{-0.31(t+0.55)}]$, $W_t = 262.59[1 - e^{-0.31(t+0.55)}]^3$, we calculated the asymptotic length of 40.82 cm and the asymptotic weight of 262.59 g. The age at inflection point of body weight growth curve was 2.99 years old when body weight was $W_t = 77.66$ g. Compared with the study results in 1970s, the recruitment and young surplus populations of the spawning stock increased significantly in reproductive population. Low-age and miniaturization tendency was obviously accompanied with fatness decrease. However, the growth potential was still high on the basis of the growth equation. The results suggest that active measures such as reducing fishing intensity of the reproductive population and protecting the spawning grounds are imperative to maintain this precious fishery resources.

Key words: *Coilia nasus*; reproductive population; age structure; growth characteristics; the Yangtze River