

浙江嵊泗人工鱼礁区小黄鱼生长特征与 资源合理利用的初步研究*

尹增强^{1,2} 章守宇^{1**} 汪振华¹ 王凯¹ 梁君³

(1. 上海海洋大学海洋科学学院 上海 201306; 2. 大连水产学院海洋工程学院 大连 116023;
3. 浙江省海洋水产研究所 舟山 316100)

摘要 人工鱼礁是放置于海底以影响有关海洋生物资源的物理、生物或社会经济过程的人工设施,具有修复生态环境、保护渔业资源的功能。本文根据2004年10月人工鱼礁拟投海域本底调查资料以及2005~2007年跟踪调查资料,分析了小黄鱼的平均体长、平均体重、体长组成和体重组成随时间的变化趋势;根据投礁前(2004年10月)和投礁后(2005年、2006年和2007年)的调查资料,求解了小黄鱼的体长体重关系式和生长方程,计算了体重生长的拐点年龄、临界年龄和总瞬时死亡率,估算了人工鱼礁区小黄鱼的资源量。结果表明:投礁后小黄鱼的平均体长和体重均呈上升趋势,优势体长组和体重组均向高值移动;同等体长情况下由投礁后体长体重关系式估算的体重比用投礁前的体长体重关系式估算的值大;投礁后小黄鱼个体生长方程的参数 L_{∞} 、 W_{∞} 、 K 值分别从投礁前的140.5 mm、36.5 g和 0.28 a^{-1} 增加到186.0 mm、118.5 g和 0.36 a^{-1} ;投礁后体长与体重生长速度与投礁前相比有所增大,且体重生长的拐点年龄从投礁前2.55 a提高到2007年的2.58 a;小黄鱼种群生物量增长的临界年龄从投礁前的3.21 a提高到3.77 a;小黄鱼种群的总瞬时死亡率从投礁前的 1.065 a^{-1} 减小到 0.75 a^{-1} ;鱼礁区小黄鱼资源量约131.5 t。并对人工鱼礁区小黄鱼生长特征和资源管理进行讨论。

关键词 体长体重关系 生长方程 临界年龄 资源量 小黄鱼 人工鱼礁

中图分类号: S931 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2010)03-0588-07

Growth variation and rational utilization of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in artificial reef areas of Shengsi, Zhejiang Province

YIN Zeng-Qiang^{1,2}, ZHANG Shou-Yu¹, WANG Zhen-Hua¹, WANG Kai¹, LIANG Jun³

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. College of Marine Engineering, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China; 3. Zhejiang Province Marine and Fishery Research Institute, Zhoushan 316100, China)

Abstract Artificial reefs are natural or manmade objects deployed purposely on the seafloors to influence physical, biological or socioeconomic processes related to marine resources. It gainfully bears the characteristics of rehabilitation and restoration of marine environment by protecting and reserving fishery resources. Based on the data (spanning from Oct. 2004 to Sep. 2007) of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in artificial reefs of Shengsi, Zhejiang Province, changes in mean body length, and weight, and in length and weigh frequencies were analyzed. Comparing the background data for Oct. 2004, (i.e., the time prior to artificial reef deployment) with the track data for 2005, 2006 and 2007 (i.e., the time after artificial reef deployment), the length-weight formula, Von Bertalanffy growth function, and population biomass of small yellow croaker in artificial reefs were analyzed using FISAT. The results are as follows: 1) mean length and weight tend to increase while dominant length and weight groups are noted to be increasing from Oct. 2004 to Sep. 2007; 2) by using length-weight formula, calculated weight value at the same length is higher for track-data than that for background-data; 3) growth parameters of L_{∞} , W_{∞} and K respectively increase from 140.5 mm, 36.5 g and 0.28 a^{-1} to 186.0 mm, 118.5 g and 0.36 a^{-1} after artificial reef deployment; 4) appreciable increases are noted in body length and weight growth rate after artificial reef deployment, and inflexion age of weight growth increases from 2.55 to 2.58 years after artificial reef deployment; 5) there is an increase in critical biomass age from 3.21 to 3.77 years after artificial reef deployment; 6) there is a decrease in

* 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2006AA100303)资助

** 通讯作者: 章守宇(1961~), 男, 博士, 教授, 主要从事海洋生态系统工程、栖息地生态改善与评价的研究。E-mail: syzhang@shou.edu.cn
尹增强(1973~), 男, 在读博士, 副教授, 主要从事人工鱼礁效果评价、渔业资源评估的研究。E-mail: zqyin@163.com

收稿日期: 2009-12-08 接受日期: 2010-03-19

total instantaneous population mortality from 1.065 to 0.75 per year after artificial reef deployment; and 7) the overall population biomass of small yellow croaker stands at 131.5 tons. Furthermore, the growth characteristics and rational utilization are discussed.

Key words Length-weight relationship, Von Bertalanffy growth function, Critical age, Population biomass, *Larimichthys polyactis*, Artificial reef

(Received Dec. 8, 2009; accepted March 19, 2010)

人工鱼礁(以下简称鱼礁)是放置于海底以影响海洋生物资源的物理、生物或社会经济过程的人工设施,具有修复生态环境、保护和增殖渔业资源的作用^[1]。关于鱼礁的渔业资源保护和增殖作用已经引起国内外学者的关注。Solonsky^[2]对美国加利福尼亚州蒙特里、Polovina 和 Sakai^[3]对日本岛牧海域、Shao 和 Chen^[4]对中国台湾北部、Gregg^[5]对美国北卡罗莱纳州、Bombace^[6]对英格兰、Mark^[7]对美国马萨诸塞州鱼礁的增殖保护作用进行了研究。陈丕茂^[8]对广东省中山市试验浮鱼礁集鱼和幼鱼保护效果、刘舜斌等^[9]对浙江嵊泗鱼礁区的渔业资源丰度和种类变化情况进行了研究。以上主要集中于对鱼礁区渔业资源的整体变化情况的研究,关于鱼礁区鱼类个体生长变化的研究尚少见公开报道。根据文献^[10]可知,鱼礁区鱼类可分为3种类型,即 I 型、II 型和 III 型。I 型鱼类身体的一部分或大部分接触鱼礁,II 型鱼类身体不接触鱼礁,但在鱼礁周围游泳和在海底栖息,III 型鱼类在鱼礁的中上层水域游泳。其中 III 型鱼类生物学资料可通过拖网调查取样获得。小黄鱼属 III 型鱼类^[10]。本文根据浙江嵊泗鱼礁海域的本底调查和跟踪调查资料,通过分析鱼礁海域重要经济鱼类——小黄鱼在投礁前后的生长特征变化情况,尝试揭示鱼礁对鱼类生长特征的影响,并提出管理措施,希望对我国资源保护型鱼礁的建设和效果评价有所裨益。

1 材料与方法

1.1 材料

本文所用小黄鱼数据来自浙江嵊泗鱼礁海域本底和跟踪调查资料。浙江嵊泗于 2005 年 1 月开始投放鱼礁,2004 年 10 月在鱼礁拟投海域本底调查 1 次,2005~2007 年在鱼礁海域跟踪调查 9 次。调查时所得渔获全部样品,用 5%甲醛溶液处理或冰鲜后,带回实验室,按照《海洋调查规范(GB 12763.6—1991)》进行生物学测定(项目包括体长、体重和性别鉴定等)。调查时所用调查船为木质船,船长 20 m,船宽 3.5 m,吨位 28 t,满载吃水 1.2 m,主机功率 29.8 kw,拖速 2.5~4 nmile·h⁻¹;调查渔具为拖网,全长 25 m,网口周径 13 m,曳纲长 200 m,叉纲长 6 m,网板为 V 型网板,网囊网目规格 0.02 m。

1.2 数据分析方法

1.2.1 生长特征的研究方法

根据投礁前和投礁后小黄鱼的调查资料:(1)分析小黄鱼投礁前与投礁后各时期的平均体长、平均体重、体长组成和体重组成。(2)求解投礁前与投礁后体长体重关系式。小黄鱼体长和体重的关系呈幂函数相关^[11],其表达式为: $W_t=a \times L_t^b$ (式中 W_t 为体重, L_t 为体长, a 、 b 为参数)。(3)求解投礁前与投礁后体长生长方程和体重生长方程。小黄鱼生长方程模型选用 Von Bertalanffy 生长方程。根据小黄鱼调查资料,鱼礁区小黄鱼样品年龄组成过于简单(以 1~2 a 为主),因此对最大渐进体长 L_∞ 和生长速率 K 的估计采用资源评估软件 FISAT^[12] 中的体长频率分析法 ELEFAN (Electronic length frequency analysis) 估算;理论初始年龄 t_0 则采用 Pauly 经验公式^[13] 计算, $\ln(-t_0) = -0.392 - 0.275 \ln L_\infty - 1.038 \ln K$;最大渐进体重 W_∞ 由公式 $W_\infty = a \times L_\infty^b$ 求得。(4)求解投礁前与投礁后体长生长速度和体重生长速度。据体长生长方程,由 dL_t/dt 和 dW_t/dt 可求得体长与体重生长速度。(5)求解投礁前与投礁后个体生长的拐点年龄。所谓拐点年龄是指鱼类体长(或体重)生长速度由大变小的年龄,它是表达鱼类个体生长由快变慢的重要指标之一^[14]。体长(或体重)生长拐点年龄可根据体长(或体重)生长方程,由 $d^2L_t/dt^2=0$ 或 $d^2W_t/dt^2=0$ 求得。(6)求解投礁前与投礁后临界年龄。所谓临界年龄是指一个世代的渔业资源群体在没有捕捞的情况下生物量达到最大时的年龄,或重量的相对生长速度等于瞬时自然死亡率时的年龄^[15],可由 $dB/(B \times dt) = M$ (式中 B 为生物量, M 为瞬时自然死亡率,亦称自然死亡系数)求得,其中瞬时自然死亡率 M 可由 Pauly^[13] 经验公式 $\ln M = -0.0066 - 0.279 \ln L_\infty + 0.654 \ln K + 0.463 \ln T$ (T 为栖息海域年均水温,本文取 20℃)求得,因为小黄鱼是集群性鱼类,需对其 M 值进行 80%修正^[14]。(7)求解投礁前与投礁后瞬时死亡率。瞬时死亡率(亦称死亡系数)表示瞬间或某一时刻死亡的快慢,是反映鱼类生长环境优劣程度的指标之一。因数据所限,本文选用 Beverton-Holt 方法求解,即总瞬时死亡率 $Z = K(L_\infty - \bar{L})/(\bar{L} - L')$ (式中 \bar{L} 、 L' 分别为平均体长和最小体长)^[14]。

1.2.2 资源量的估算方法

本文采用体长股分析法求解鱼礁区小黄鱼的资

源量。主要公式^[14]为: $N_t = C_t(M + F_t)$; $C_i = N_{i+\Delta t} \cdot F_i / (M + F_i) \cdot [e^{(M+F_i)\Delta t} - 1]$, 式中, $\Delta t = (t_{i+1} - t_i)$, $t_i = t_0 - (1/K) \cdot \ln[1 - (L_i/L_\infty)]$; $N_i = N_{i+\Delta t} \cdot e^{M+F_i}$ 。 N_t 、 C_t 和 F_t 分别为小黄鱼最大体长的资源量、渔获量和捕捞死亡系数, N_i 、 C_i 和 F_i 分别为小黄鱼 i 龄时的资源量、渔获量和捕捞死亡系数, $N_{i+\Delta t}$ 为小黄鱼 $i+\Delta t$ 龄时的资源量, M 为瞬时自然死亡率。根据调研情况, 本文设鱼礁区小黄鱼的采样量占年渔获量的 1%。上述计算过程运用 FISAT 软件完成。

2 结果与分析

2.1 小黄鱼平均体长、平均体重、体长组成和体重组成的变化

根据浙江嵊泗鱼礁海域本底和跟踪调查的小黄鱼数据资料, 求得各次调查小黄鱼的平均体长和平均体重(图 1), 统计并计算历次调查的体长组成和体

重组成, 分别作体长组成柱状图和体重组成柱状图(图 2)。由图 1 可知, 小黄鱼的平均体长和平均体重随时间推移呈上升趋势。平均体长由投礁前的 53.0 mm 逐渐增加到 135.0 mm, 平均体重由投礁前的 7.9 g 逐渐增加到 47.0 g。由图 2 可知, 小黄鱼的优势体长组由投礁前 60 mm 变为 141~160 mm, 并且有明显的随时间推移优势体长组向高值移动的趋势; 小黄鱼的优势体重组由投礁前 20 g 变为 41~60 g, 并且有明显的随时间推移优势体重组向高值移动的趋势。

2.2 小黄鱼体长体重关系式

根据本底调查(2004 年 10 月)数据和投礁后历年(2005 年、2006 年和 2007 年)跟踪调查数据, 对体长体重进行幂函数拟合(图 3), 投礁前小黄鱼体长体重关系式为: $W_t = 2 \times 10^{-4} L_t^{2.4500}$ [$r=0.9985$, $P=0.0001 < 0.01$, $F(1,3) = 988.3 > F_{0.01}(1,3) = 24.12$]; 投

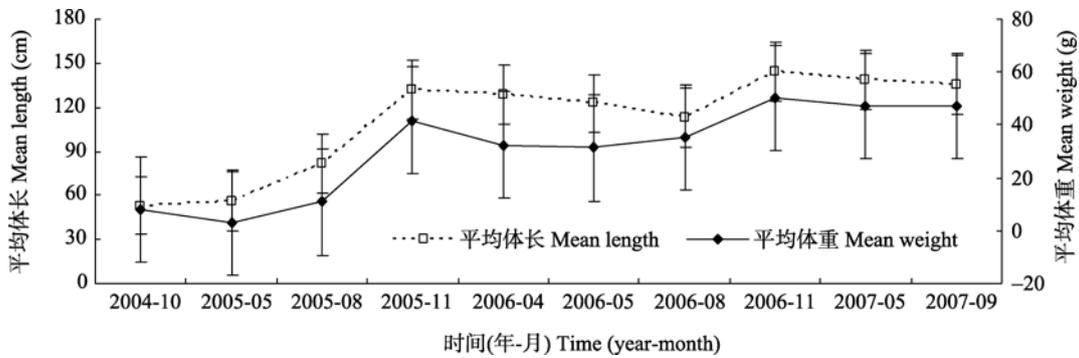


图 1 人工鱼礁区小黄鱼平均体长和平均体重随时间的变化

Fig. 1 Changes in the mean body length and mean body weight for small yellow croaker in artificial reef area from Oct. 2004 to Sept. 2007

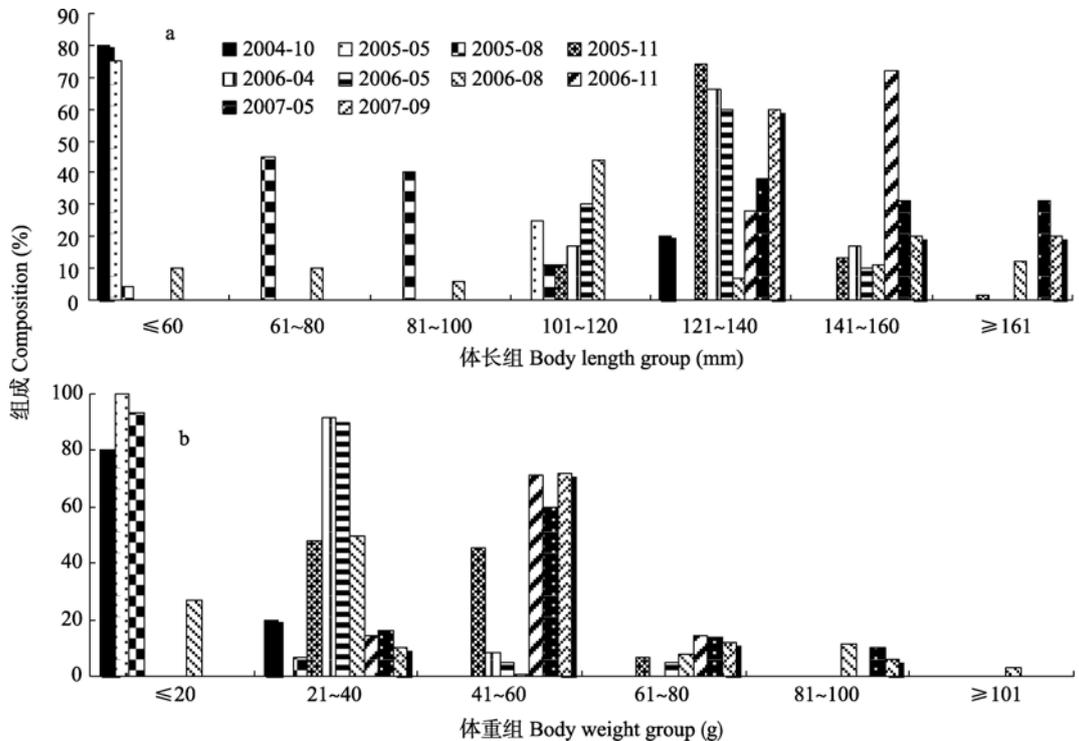


图 2 人工鱼礁区小黄鱼体长(a)及体重(b)组成随时间的变化

Fig. 2 Changes in body length (a) and body weight (b) compositions for small yellow croaker in artificial reef area from Oct. 2004 to Sept. 2007

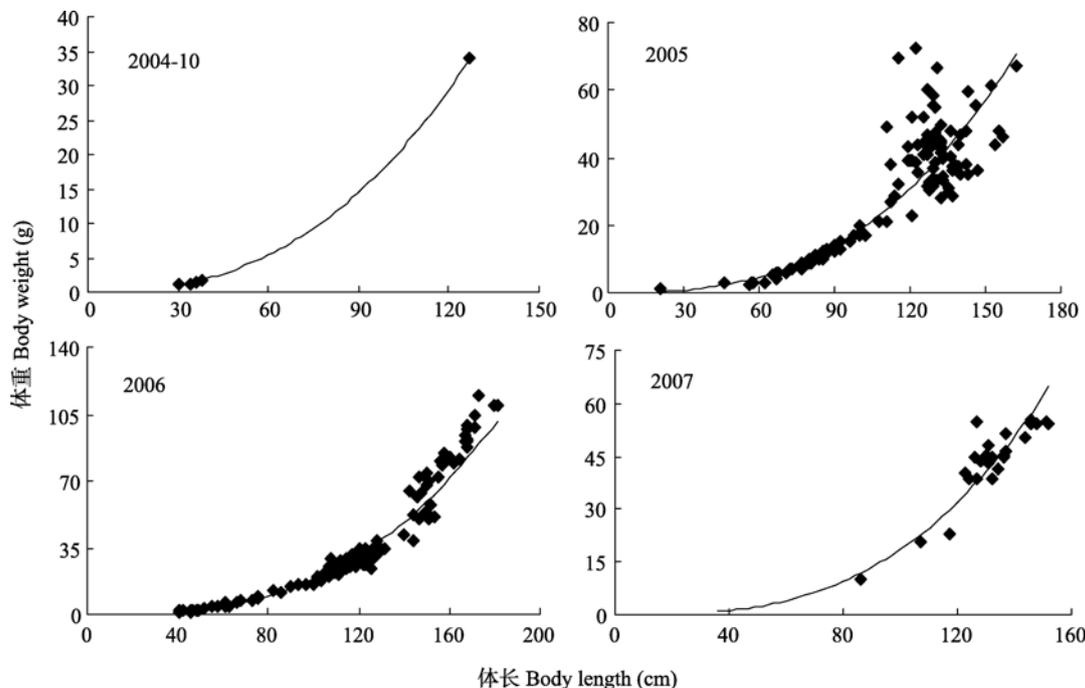


图3 投礁前后小黄鱼体长体重的关系

Fig. 3 Length-weight relationship of small yellow croaker before and after the deployment of the artificial reef

礁后 2005 年小黄鱼体长体重关系式为: $W_t = 5.91 \times 10^{-5} L_t^{2.7502}$ [$r=0.953$ 1, $P=0.000$ 1 <0.01 , $F(1, 125)=1\ 230.0 > F_{0.01}(1, 125) \approx 6.85$]; 投礁后 2006 年小黄鱼体长体重关系式为: $W_t = 3.27 \times 10^{-5} L_t^{2.8757}$ [$r=0.990$ 7, $P=0.000$ 1 <0.01 , $F(1, 124)=8\ 657.4 > F_{0.01}(1, 124) \approx 6.80$]; 投礁后 2007 年小黄鱼体长体重关系式为: $W_t = 1.92 \times 10^{-5} L_t^{2.9924}$ [$r=0.931$ 1, $P=0.000$ 1 <0.01 , $F(1, 124)=149.8 > F_{0.01}(1, 124) \approx 6.80$].

为比较投礁后小黄鱼体长体重关系式的变化, 运用投礁前后各年体长体重关系式求解相同体长情况下的体重(表 1)。当体长大于 75.47 mm 时, 同等体长的小黄鱼投礁后各年的体重均大于投礁前的体重, 且体长越大越明显; 当体长大于 114.7 mm 时, 随投礁时间的延长, 同等体长小黄鱼的体重也逐渐增大; 体长小于 75.47 mm 的小黄鱼, 在投礁后同等体长的体重略小于投礁前, 原因可能是投礁后小黄鱼的数量激增, 虽然鱼礁可增加海域的饵料生物基础, 但因鱼礁投放时间较短, 饵料生物增殖量有限。在同等环境条件下, 个体大的比个体小的小黄鱼索饵能力强, 造成个体小的小黄鱼肠胃饱满度低, 因而其体重值较小。

2.3 小黄鱼体长与体重生长

2.3.1 体长生长方程与体重生长方程

根据投礁前和投礁后的体长数据, 分别按 1 mm 间隔统计得 体长组成分布图(图 4)。对投礁前(2004 年 10 月)和投礁后(2005 年、2006 年和 2007 年)体长组成数据, 应用 ELEFAN I 方法, 分别得投礁前和投礁后的 Von Bertalanffy 生长参数。投礁前, 生长曲

表 1 相同体长下运用投礁前后体长体重关系式计算的小黄鱼体重

Tab. 1 Estimated weight of small yellow croaker by length-weight formula in artificial reef at the same length

体长 Body length (mm)	体重 Body weight (g)			
	2004-10	2005	2006	2007
10	0.056	0.033	0.025	0.019
50	2.907	2.780	2.507	2.326
58	4.182	4.182	3.841	3.626
70	6.630	7.014	6.595	6.366
71	6.865	7.293	6.869	6.642
75.47	7.972	8.627	8.187	7.972
80	9.196	10.127	9.681	9.492
94.7	13.902	16.104	15.724	15.724
100	15.887	18.706	18.389	18.506
104.55	17.716	21.141	20.898	21.141
114.7	22.231	27.277	27.277	27.894
120	24.833	30.885	31.059	31.931

率 K 值为 $0.28\ a^{-1}$, 最大渐进体长 L_{∞} 为 140.5 mm, 理论初始年龄 t_0 为 -0.65 a; 投礁后 2005 年, 生长速率 K 值为 $0.26\ a^{-1}$, 最大渐进体长 L_{∞} 为 166.5 mm, 理论初始年龄 t_0 为 -0.67 a; 2006 年, 生长速率 K 值为 $0.35\ a^{-1}$, 最大渐进体长 L_{∞} 为 182.5 mm, 理论初始年龄 t_0 为 -0.48 a; 2007 年, 生长速率 K 值为 $0.36\ a^{-1}$, 最大渐进体长 L_{∞} 为 186.0 mm, 理论初始年龄 t_0 为 -0.46。由投礁前和投礁后的体长体重关系式可得投礁前和投礁后(2005 年、2006 年和 2007 年)的 W_{∞} 分别为 36.5 g、76.0 g、103.7 g 和 118.5 g。因此投礁前和投礁后的 Von Bertalanffy 生长方程分别为: 投礁前, 体长生长方程为 $L_t=140.5 \times [1 - e^{-0.28 \times (t+0.65)}]$,

体重生长方程为 $W_t=36.5 \times [1 - e^{-0.28 \times (t+0.65)}]^{2.45}$; 投礁后 2005 年, 体长生长方程为 $L_t=166.5 \times [1 - e^{-0.26 \times (t+0.67)}]$, 体重生长方程为 $W_t=76.0 \times [1 - e^{-0.26 \times (t+0.67)}]^{2.75}$; 2006 年, 体长生长方程为 $L_t=182.5 \times [1 - e^{-0.35 \times (t+0.48)}]$, 体重生长方程为 $W_t=103.7 \times [1 - e^{-0.35 \times (t+0.48)}]^{2.875}$; 2007 年, 体长生长方程为 $L_t=186.0 \times [1 - e^{-0.36 \times (t+0.46)}]$, 体重生长方程为 $W_t=118.5 \times [1 - e^{-0.36 \times (t+0.46)}]^{2.992}$ 。

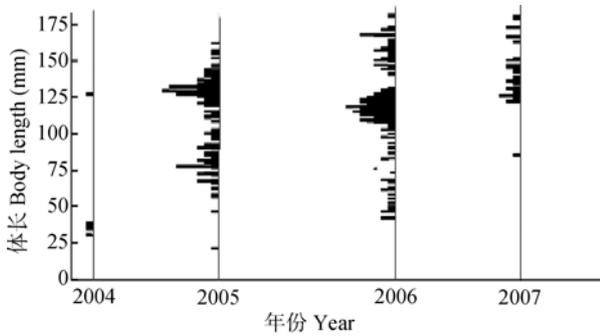


图4 人工鱼礁区小黄鱼历年的体长分布图
Fig. 4 Body length distribution of small yellow croaker in artificial reef area from 2004 to 2007

2.3.2 体长与体重瞬时生长速度

由投礁前和投礁后的体长与体重生长方程, 可得相应的体长生长速度方程与体重生长速度方程。投礁前, 体长生长速度方程为 $dL_t/dt=39.34 \times e^{-0.28(t+0.65)}$, 体重生长速度方程为 $dW_t/dt = 25.04 \times [1 - e^{-0.28(0.65+t)}]^{1.45} \times e^{-0.28(0.65+t)}$; 投礁后 2005 年, 体长生长速度方程为 $dL_t/dt=43.29 \times e^{-0.26(t+0.67)}$, 体重生长速度方程为 $dW_t/dt = 54.34 \times [1 - e^{-0.26(t+0.67)}]^{1.75} \times e^{-0.26(t+0.67)}$; 2006 年, 体长生长速度方程为 $dL_t/dt=63.88 \times e^{-0.35(t+0.48)}$, 体重生长速度方程为 $dW_t/dt = 104.35 \times [1 - e^{-0.35(t+0.48)}]^{1.875} \times e^{-0.35(t+0.48)}$; 2007 年, 体长生长速度方程 $dL_t/dt=66.96 \times e^{-0.36(t+0.46)}$, 体重生长速度方程为 $dW_t/dt = 127.64 \times [1 - e^{-0.36(t+0.46)}]^{1.992} \times e^{-0.36(t+0.46)}$ 。根据投礁前和投礁后的体长与体重生长速度方程分别作体长生长速度和体重生长速度关于年龄的曲线图

(图 5)。由图 5 可知, 投礁后 3 年中各年龄小黄鱼的体长和体重的生长速度均高于投礁前的生长速度; 投礁前和投礁后小黄鱼体长的生长速度随年龄增大逐渐减小, 体重生长速度随年龄增大先逐渐增大达到最大值后逐渐减小(投礁前体重增长速度的最大值为 $4.78 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$, 投礁后 2005 年、2006 年和 2007 年体重增长速度的最大值分别为 $8.96 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$ 、 $16.28 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $18.97 \text{ g} \cdot \text{a}^{-1}$)。

2.3.3 个体生长的拐点年龄

个体生长的拐点年龄是鱼类个体生长速度由快变慢时的年龄。由图 5 可知, 小黄鱼体长生长速度没有拐点, 而体重生长速度存在拐点。投礁前和投礁后体重生长速度由快变慢处的年龄可由 $d^2W_t/dt^2=0$ 求得。投礁前, $d^2W_t/dt^2=10.17 \times e^{-0.56(0.65+t)} \times [1 - e^{-0.28(0.65+t)}]^{0.45} - 7.01 \times e^{-0.28(0.65+t)} \times [1 - e^{-0.28(0.65+t)}]^{1.45} = 0$, 即 $t=2.54 \text{ a}$ 或 -0.65 a , 其中 $t = -0.65 \text{ a}$ 无实际生物学意义, 因此体重生长拐点年龄为 2.54 a , 进而求得体重生长拐点年龄时的体长和体重分别为 83.2 mm 和 10.1 g ; 同理可得投礁后各年体重生长的拐点年龄以及拐点年龄时的体长和体重。即 2005 年, 拐点年龄为 3.22 a , 拐点年龄时的体长和体重分别为 105.9 mm 和 21.9 g ; 2006 年, 拐点年龄为 2.54 a , 拐点年龄时的体长和体重分别为 119.1 mm 和 30.4 g ; 2007 年, 拐点年龄为 2.58 a , 拐点年龄时的体长和体重分别为 123.7 mm 和 35.0 g 。由投礁前和投礁后计算结果可知, 投礁后体重生长拐点年龄均不小于投礁前的拐点年龄, 而拐点年龄处的体长与体重均明显大于投礁前, 说明与投礁前相比, 投礁后小黄鱼个体体重生长速度较快的时间延长, 且体重生长速度增大。

2.4 小黄鱼临界年龄

由前述临界年龄的定义可知 $dB/(B \times dt)=M$ (式中 B 表示 1 个世代的生物重量)。假设同世代各个体体重生长均遵循 Von Bertalanffy 生长方程, 则 $dW_t/(W_t \times dt) \quad dB/(B \times dt)=M$ 。根据经验公式^[14]: $\ln M =$

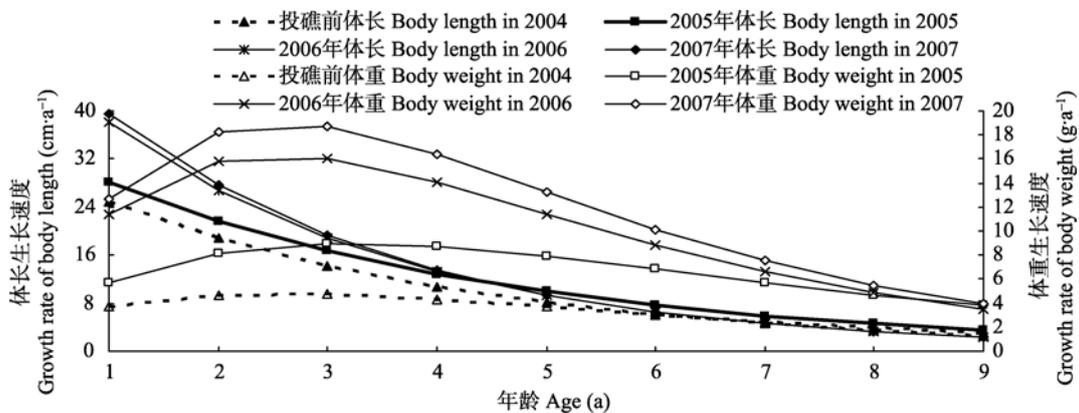


图5 人工鱼礁区小黄鱼体长和体重生长速度曲线
Fig. 5 Growth rate curves of body length and weight of small yellow croaker in artificial reef area

- 0.006 6 - 0.279ln L_{∞} +0.654 3ln K +0.463 4ln T , T 为栖息海域年均水温, 本文取20, 以及投礁前与投礁后的 L_{∞} 、 K 值可求得相应的 M 。投礁前, 由投礁前 L_{∞} 为140.5 mm、 K 为0.28 a⁻¹求得 M 为0.44 a⁻¹, 由于小黄鱼是集群性鱼类, 因此需对 M 值进行80%修正^[14], 修正后的投礁前小黄鱼 M 值为0.35 a⁻¹。投礁后, 考虑到鱼礁具有消减海洋灾害、庇护鱼类的作用^[16], 故对鱼礁海域小黄鱼 M 值在原修正值的基础上再进行80%的修正。2005年, 由 L_{∞} 为166.5 mm、 K 为0.26 a⁻¹求得 M 为0.25 a⁻¹; 2006年, 由 L_{∞} 为182.5 mm、 K 为0.35 a⁻¹求得 M 为0.30 a⁻¹; 2007年, 由 L_{∞} 为186.0 mm、 K 为0.36 a⁻¹求得 M 为0.30 a⁻¹。根据投礁前后的体重生长方程和 M , 由 $dW_t/(W_t \times dt)=M$, 可得临界年龄。投礁前, 由 $W_t=36.5 \times [1 - e^{-0.28 \times (t+0.65)}]^{2.45}$ 和 $M=0.35$ a⁻¹, 可得临界年龄为3.21 a, 代入生长方程, 求得相应临界体长为94.2 mm, 相应临界体重为13.7 g; 投礁后2005年, 由 $W_t=76.0 \times [1 - e^{-0.26 \times (t+0.67)}]^{2.75}$ 和 $M=0.25$ a⁻¹, 可得临界年龄为4.52 a, 代入生长方程, 求得相应临界体长为123.3 mm, 相应临界体重为33.3 g; 2006年, 由 $W_t=103.7 \times [1 - e^{-0.35 \times (t+0.48)}]^{2.875}$ 和 $M=0.30$ a⁻¹, 可得临界年龄为3.72 a, 代入生长方程, 求得相应临界体长为140.5 mm, 相应临界体重为48.9 g; 2007年, 由 $W_t=118.5 \times [1 - e^{-0.36 \times (t+0.46)}]^{2.992}$ 和 $M=0.30$ a⁻¹, 可得临界年龄为3.77 a, 代入生长方程, 求得相应临界体长为145.4 mm, 相应临界体重为56.8 g。由投礁前和投礁后计算结果可知, 投礁后小黄鱼的临界年龄均比投礁前增大, 临界年龄处的体长与体重均显著大于投礁前, 说明投礁后小黄鱼种群数量快速增长时间延长, 从而提高了小黄鱼种群的资源数量。

2.5 小黄鱼总瞬时死亡率

总瞬时死亡率可由Beverton-Holt公式[即 $Z=K(L_{\infty}-\bar{L})/(\bar{L}-L')$]求得。投礁前, 已知 K 、 L_{∞} 、 \bar{L} 、 L' 分别为0.28 a⁻¹、140.5 mm、53.0 mm、30.0 mm, 可

得 $Z=1.065$ a⁻¹; 投礁后2005年, 已知 K 、 L_{∞} 、 \bar{L} 、 L' 分别为0.26 a⁻¹、166.5 mm、110.5 mm、21.0 mm, 可得 $Z=0.163$ a⁻¹; 2006年, 已知 K 、 L_{∞} 、 \bar{L} 、 L' 分别为0.35 a⁻¹、182.5 mm、116.7 mm、41.0 mm, 可得 $Z=0.304$ a⁻¹; 2007年, 已知 K 、 L_{∞} 、 \bar{L} 、 L' 分别为0.36 a⁻¹、186 mm、131.5 mm、86.0 mm, 可得 $Z=0.750$ a⁻¹。因此投礁后小黄鱼的总瞬时死亡率明显小于投礁前。总瞬时死亡率可表征鱼类个体生活环境的好坏, 总瞬时死亡率越低, 说明鱼类生存机率越高, 生活环境越好, 故与投礁前相比, 投礁后小黄鱼的生活环境有了较大改善。

2.6 小黄鱼资源量的估算

体长股分析法是对同一世代鱼类种群的体长组成进行分析以估算资源量的重要方法, 需要根据投礁前后历次调查的小黄鱼体长组成资料(图6)进行计算。由于最大体长小黄鱼的资源开发率一般取50%^[14], 因此最大体长小黄鱼的捕捞死亡系数取 $F_t=M=0.27$ a⁻¹。根据体长股分析法, 运用FISAT软件可估算鱼礁区小黄鱼的资源数量约为396.1万尾。根据历次采集样品求得平均体重为33.2 g, 因此鱼礁区小黄鱼资源生物量约为131.5 t。

3 结论与讨论

3.1 小黄鱼生长特征

体长和体重的相关指标是表征鱼类生长特点的重要指标。本文通过比较投礁前与投礁后小黄鱼各生长指标表明: 投礁后小黄鱼的平均体长与平均体重呈增加趋势, 优势体长组与体重组均向高值移动; 同等体长情况下用投礁后比用投礁前的体长体重关系式估算的体重高; 投礁后个体生长方程的参数 L_{∞} 、 W_{∞} 、 K 值均比投礁前大; 体长与体重生长速度投礁后与投礁前相比有所增大, 并且体重生长的拐点年龄及拐点年龄处的体长体重均比投礁前大; 小

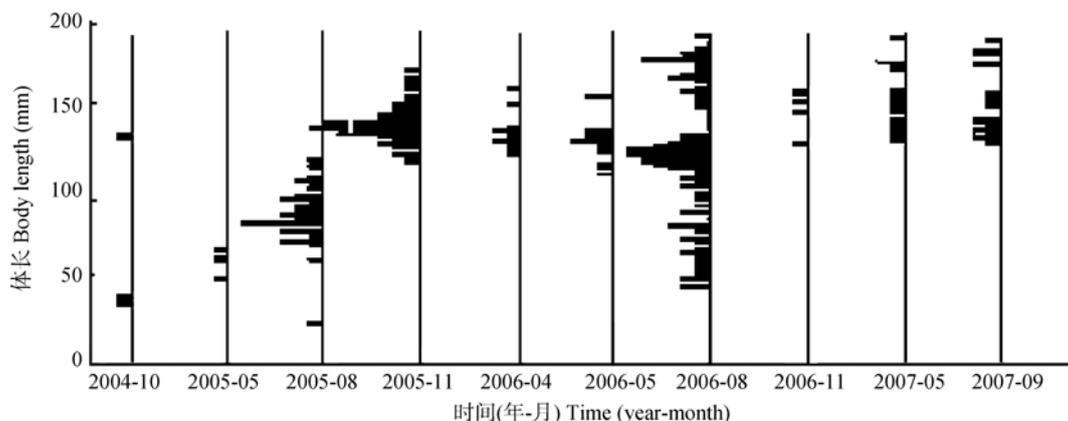


图6 人工鱼礁区历次调查小黄鱼的体长分布图

Fig. 6 Body length distribution of small yellow croaker in artificial reef area from Oct. 2004 to Sept. 2007

黄鱼种群生物量增长的临界年龄投礁后比投礁前有所增大;小黄鱼种群的总瞬时死亡率投礁后比投礁前明显减小。上述生长指标的变化说明小黄鱼饵料保障提高和栖息环境得到了改善,这可能是由于鱼礁的投放促进了海水的垂直混合,增加了海域的浮游生物含量,提高了小黄鱼的饵料生物基础,降低了被其他肉食性鱼类或海洋动物捕食几率,减少了被人类捕捞的机会等原因造成的。

虽然投礁前(2004年10月)小黄鱼样本数量较少可能会对分析结果产生一定影响,但鱼礁对小黄鱼生长的影响是肯定的。由文献[14]可知,体长体重关系式($W=a \cdot L^b$)中系数 a 亦称为条件因子,当 b 值相近时, a 值的大小一定程度上反映了鱼类生活环境条件的优劣情况。本文计算的鱼礁区小黄鱼的 a 值(2005年、2006年和2007年的 a 值均值为 3.7×10^{-5})大于林龙山等^[15]对东海区小黄鱼估计的 a 值(2.661×10^{-5})。浙江嵊泗鱼礁海域地处东海,鱼礁海域的 a 值较大说明鱼礁的投放在一定程度上改善了小黄鱼的生活环境。体重生长的拐点年龄和世代生长的临界年龄的大小反映了鱼类个体和种群快速生长时间的长短,本文计算的鱼礁区小黄鱼的拐点年龄(2005年3.22 a, 2006年2.54 a, 2007年2.58 a, 均值为2.78 a)与临界年龄(2005年4.52 a, 2006年3.72 a, 2007年3.77 a, 均值为4.00 a)也明显大于林龙山等^[15]研究的东海区小黄鱼拐点年龄(1.69 a)与临界年龄(2.18 a),说明鱼礁投放改善了小黄鱼个体和种群的生活栖息环境。因此鱼礁对小黄鱼的生长会产生一定影响。

3.2 鱼礁区小黄鱼资源利用策略

鱼礁监管单位可从小黄鱼的开捕年龄和捕捞产量两方面制定小黄鱼资源利用和管理方法。从生物学角度讲,开捕年龄的制定既要考虑到鱼类个体的生长潜力,也要考虑到鱼类世代生物量的变化。从鱼类个体生长潜能的角度出发,渔业利用开捕年龄应限制在生长拐点年龄之后^[17];而从鱼类世代生物量变化的角度出发,临界年龄才是其最佳开捕年龄,此时世代的瞬间生物量达到最大。鱼礁区小黄鱼可由监管单位根据实际情况安排捕捞时间,因此为减少因自然死亡而造成的渔业损失,实际开捕年龄应在临界年龄之前。根据本文计算的体重生长拐点年龄和鱼类世代生物量变化的临界年龄可知,小黄鱼开捕年龄确定为2.78~4.00 a比较合适,为便于操作,可按相应的体长(或体重)来控制,即开捕体长(或体重)控制在114.8~134.4 mm(或28.5~45.5 g)为宜。总允许捕捞产量的确定,需要根据现有资

源量,综合考虑鱼礁区的整体情况后确定。本文运用体长股分析法计算了鱼礁海域的小黄鱼资源量约为131.5 t,可作为鱼礁区渔业资源管理的参考依据。

参考文献

- [1] Seaman W Jr. Artificial reef evaluation with application to natural marine habitats[M]. New York: CRC Press, 2000: 5
- [2] Solonsky A C. Fish colonization and the effect of fishing activities on two artificial reefs in Monterey California[J]. Bulletin of Marine Science, 1985, 37(1): 336-347
- [3] Polovina J J, Sakai I. Impacts of artificial reefs on fishery production in Shimamaki, Japan[J]. Bulletin of Marine Science, 1989, 44(2): 997-1003
- [4] Shao K, Chen L. Evaluating the effectiveness of the coal ash artificial reefs at Wan-Li, northern of Taiwan[J]. Journal of the Fisheries Society of Taiwan, 1992, 19(4): 239-250
- [5] Gregg K L. Comparisons of three manufactured artificial reef units in Onslow Bay, North Carolina[J]. Bulletin of Marine Science, 1995, 44(2): 944-951
- [6] Bombace G. Protection of artificial habitats by artificial reefs[C]//European Artificial Reef Research, Proceedings. Southampton: Southampton Oceanography Centre, 1997: 1-15
- [7] Mark R. Massachusetts marine artificial reef plan[R]. Massachusetts Division of Marine Fisheries Technical Report, 2006: 1-30
- [8] 陈丕茂. 中山海域浮式试验鱼礁效果研究[J]. 湛江海洋大学学报, 2005, 25(3): 85-89
- [9] 刘舜斌, 汪振华, 林良伟, 等. 嵊泗人工鱼礁建设初期效果评价[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(3): 297-301
- [10] 杨吝, 刘同渝, 黄汝堪. 人工鱼礁集鱼机理浅析[J]. 水产科技, 2000(2): 6-11
- [11] 费鸿年, 张诗全. 水产资源学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990
- [12] FAO. Fish Stock Assessment Tools[EB/OL]. 2009-11-10. <http://www.fao.org/fi/oldsite/STATIST/fisoft/fisat/index.htm>
- [13] Pauly D. Fish population dynamics in tropical waters: A manual for use with programmable calculators[M]. Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management, 1984: 325
- [14] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 农业出版社, 1994
- [15] 林龙山, 程家骅. 东海区小黄鱼渔业生物学现状的分析[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(4): 565-570
- [16] 杨吝, 刘同渝, 黄汝堪. 中国人工鱼礁理论与实践[M]. 广州: 广东科技出版社, 2005: 54-78
- [17] 常剑波, 孙建贻, 段中华, 等. 网湖似刺鲃的种群生长和死亡的研究[J]. 水生生物学报, 1994, 18(3): 230-239