

黄河口中华绒螯蟹野生群体生长特征研究

丛旭日, 李秀启, 董贯仓, 客 涵, 师吉华, 孙鲁峰

(山东省淡水渔业研究院, 济南 250013)

摘要:研究黄河口中华绒螯蟹种群的生长特征,为更好地实施增殖放流提供参考。2016年5、8、9及11月,采用定制网捕获中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)634只,运用FiSAT II软件相关模块对中华绒螯蟹生长、死亡参数、生长特性、种群补充模式进行研究。样本甲壳宽11~73 mm,体重5.8~175.3 g;中华绒螯蟹生长参数,雌性为 $k=1.90$ 、 $L_{\infty}=69.30$ mm、 $t_0=-0.091$,雄性为 $k=1.80$ 、 $L_{\infty}=68.25$ mm、 $t_0=-0.098$;经变换甲壳宽渔获曲线法(Length-Converted Catch Curve)及刀刃式选择假设模型(Knife-Edge)估算中华绒螯蟹总死亡系数为4.51、自然死亡系数为1.50、捕捞死亡系数为3.01、资源开发利用率为0.67;黄河口中华绒螯蟹大约在4-5月初孵出大眼幼体,经过生长发育,其最大甲壳宽可以在第3年达到70 mm以上;黄河口中华绒螯蟹的生长周期较短,成熟个体较小;种群补充模式分析表明,黄河口中华绒螯蟹种群补充单峰值出现在8、9、10月,此时间段与山东省所施行的禁渔期相吻合。

关键词:中华绒螯蟹;生长特征;FiSAT II;黄河口

中图分类号:S917.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2018)06-0081-06

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)属节肢动物门(Arthropoda)甲壳纲(Crustacea)十足目(Decapoda)方蟹科(Grapsidae)绒螯蟹属(*Eriocheir*),俗称河蟹、大闸蟹,在中国境内分布广泛,北至辽宁鸭绿江口,南至珠江,具有很高的营养价值。中华绒螯蟹亦是黄河口重要的经济物种,近年来黄河口大闸蟹已形成当地品牌,为渔民带来了丰厚的收入。中华绒螯蟹的研究多集中于长江段养殖和野生群体(管卫兵等,2013;景丽,2012;张航利,2013;刘凯等,2007),黄河口中华绒螯蟹的研究较为少见。联合国粮农组织(FAO)研发的FiSAT II软件已广泛应用于水生生物生长参数和资源量估算研究,如淡水水体中鱼类资源量评估(吴金明等,2011)、鄱阳湖通长江水道鲤鱼的生物学参数研究(吴斌等,2015)、甲壳类生物学参数以及资源量的估算等,国外学者Jayawardane等(2002)研究了斯里兰卡海域印度对虾的种群参数,贺舟挺等(2009)研究结果表明东海北部葛氏长臂虾生长死亡参数及资源量估算与实际生产情况相符合。本研究利用FiSAT II对黄河口中华绒螯蟹种群的生长参数、死亡参数、开发率以及

补充类型的现状进行分析研究,以期更好地了解黄河口中华绒螯蟹的生物学特性和生长状况,验证FiSAT II对甲壳类生物生长参数计算的合理性,为更好地实施增殖放流提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料来源

样品采集时间为2016年5月24日、8月20日、9月21日、11月20日,采用定制网对黄河口区域(建林浮桥~入海口段)进行调查。各次调查均依据《海洋调查规范》(国家海洋局,2007),选取附肢完整的个体,记录性别。

1.2 数据来源及处理

测量的形态参数为甲壳宽和体重。

甲壳宽(L , mm):头胸甲左右最大宽度。游标卡尺测量,精确到1mm。

体重(W , g):用吸水纸吸去体表水分,电子天平称量,精确到0.1g。

所得数据用Excel2010进行回归分析与统计。

1.2.1 甲壳宽-体重相关性 采用幂函数拟合甲壳宽和体重关系,公式为:

$$W = a \times L^b \quad (1)$$

式中: W 为体重, L 为甲壳宽, a 为条件因子, b 为幂指数。

1.2.2 生长拟合 利用测定中华绒螯蟹甲壳宽、体重数据,以5 mm组距建立甲壳宽频率数据,运用

收稿日期:2017-07-20

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201303050)。

作者简介:丛旭日,1990年生,男,实习研究员,研究方向为渔业资源与渔业生态。E-mail:congxiuri90@126.com

通信作者:李秀启,副研究员。E-mail:xiuqili@sina.cn

FiSAT II 软件中的 ELEFAN I (Electronic Length Frequency Analysis I) 法拟合 Von Bertalanffy 生长方程 (VBGF) 对黄河口中华绒螯蟹渐进甲壳宽 L_{∞} 、生长参数 k 进行估算, VBGF 公式为:

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

式中: L_t 为 t 时间时的甲壳宽; t_0 为理论生长起点年龄, 即长度 (L_t) 为 0 时的年龄, 运用 Pauly 经验公式求得, 公式为:

$$\ln(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \ln L_{\infty} - 1.308 \ln k \quad (3)$$

对生物学参数优化度的评估, 采用 Pauly 等 (1981) 提出的拟合优度 Score 指数为判别标准, 指数计算于 FiSAT II 软件中同时完成, 公式为:

$$\text{Score} = 10^{\text{ESP}/\text{ASP}/10} \quad (4)$$

式中: ESP (Explained sum of peaks) 表示理论波峰数, ASP (Available sum of peaks) 表示可获得波峰和的最大值, 是曲线能够得到的最大值。Score 指数值为 0~1, 是拟合优度估计值。不断更改 L_{∞} 、 k 的初始值, 通过检验拟合优度 Score 指数大小变化, 从而得出 Score 指数最大且相应参数在生物学上能接受的 L_{∞} 、 k 值, 即最佳值。

1.2.3 捕捞死亡系数 运用 FiSAT II 软件中的甲壳宽变换渔获曲线法 (Length-converted catch curve) 估计总死亡系数 Z , 公式为:

$$\ln(N_t/\Delta_t) = a + b \times t \quad (5)$$

式中: N_t 为 t 龄甲壳宽组占总样品尾数的比例, Δ_t 为其相应甲壳宽组下限生长到甲壳宽组上限所需时间, t 为对应甲壳宽组中值年龄, $a = \ln N_0$, $-b = Z$, 即总死亡系数估计值。自然死亡系数 M 运用 Pauly 经验公式求得, 公式为:

$$\lg M = -0.0066 - 0.279 \lg L_{\infty} + 0.6543 \lg k + 0.4634 \lg t \quad (6)$$

式中: t 为调查海域全年平均水温。捕捞死亡系数为总死亡系数与自然死亡系数差值, 即 $F = Z - M$ 。资源利用率为捕捞死亡系数与总死亡系数的比值, 即 $E = F/Z$ 。

1.2.4 种群补充模式 依据甲壳宽频率数据, 在 FiSAT II 软件补充模式 (Recruitment Patterns) 模块中输入 L_{∞} 、 k 及 t_0 数据, 重构黄河口中华绒螯蟹每年种群补充期, 从而确定种群补充模式。

2 结果

2016 年共采集中华绒螯蟹 634 只, 其中雄性

264 只、雌性 370 只。5 月份雄性 58 只、雌性 112 只, 8 月份雄性 82 只、雌性 94 只, 9 月份雄性 60 只、雌性 84 只, 11 月份雄性 64 只、雌性 80 只。

2.1 甲壳宽、体重分布

统计表明, 634 只中华绒螯蟹甲壳宽变动范围 11~73 mm、体重变动范围 5.8~175.3 g (图 1)。优势甲壳宽范围集中在 20~50 mm (图 2), 占到总样本的 93.2%; 优势体重范围集中在 10.0~80.0 g (图 3), 占到总样本的 94.1%。

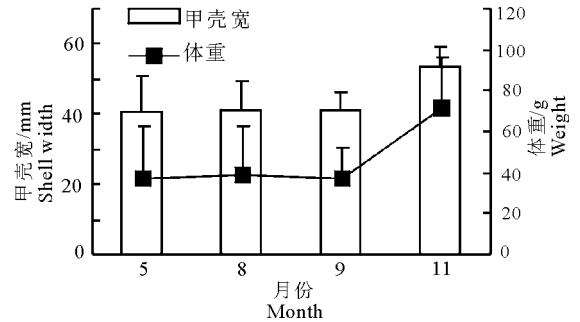


图 1 中华绒螯蟹甲壳宽与体重

Fig.1 Shell width and weight of *Eriocheir sinensis*

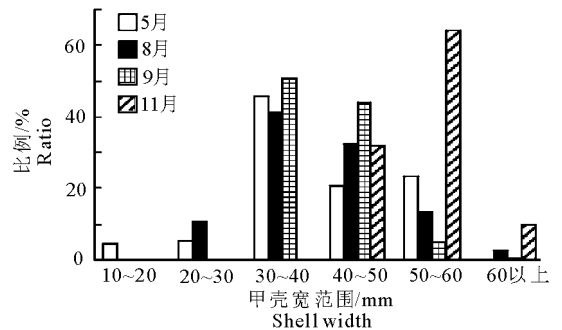


图 2 中华绒螯蟹壳宽分布

Fig.2 Shell width distribution of *E. sinensis*

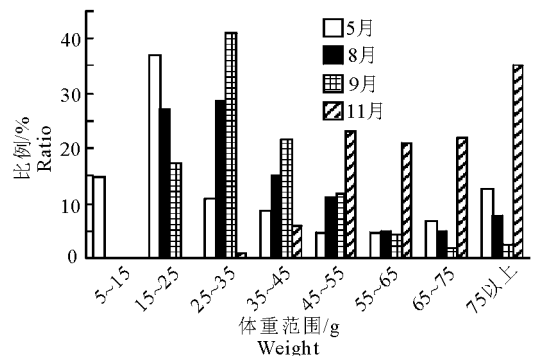


图 3 中华绒螯蟹体重分布

Fig.3 Weight distribution of *E. sinensis*

2.2 甲壳宽-体重关系

甲壳宽与体重关系的回归方程如图 4, 雌雄蟹生长曲线均符合幂函数关系。

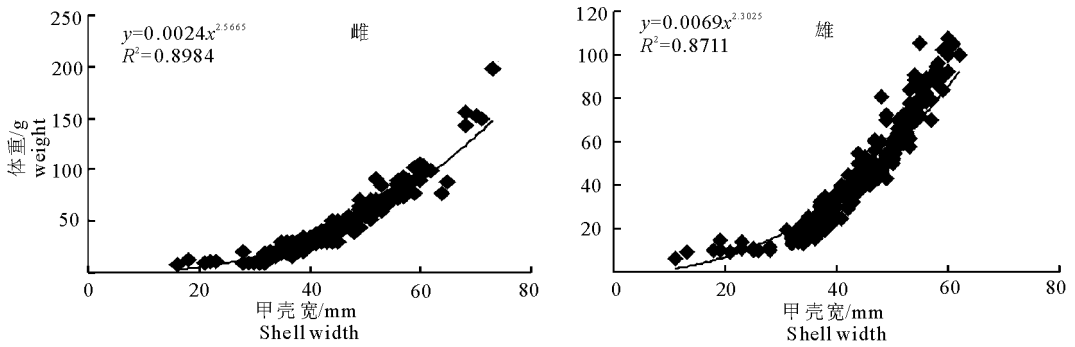


图 4 中华绒螯蟹甲壳宽与体重关系

Fig.4 Relationship between shell width and body weight of *E. sinensis*

2.3 生长方程

根据甲壳宽频率数据, 运用 FiSAT II 软件分析结果为:

中华绒螯蟹雄性: $L_{\infty} = 68.25 \text{ mm}, k = 1.80,$
 $t_0 = -0.098, \text{score} = 0.49;$
 中华绒螯蟹雌性: $L_{\infty} = 69.30 \text{ mm}, k = 1.90,$
 $t_0 = -0.091, \text{score} = 0.55;$

中华绒螯蟹雄性生长方程:

$$L_t = 68.25[1 - e^{-1.80(t+0.098)}];$$

中华绒螯蟹雌性生长方程:

$$L_t = 63.00[1 - e^{-1.80(t+0.091)}].$$

中华绒螯蟹甲壳宽频率时间序列以及应用 ELEFAN I 估计的生长曲线见图 5。

2.4 死亡率、开发率及种群补充模式

中华绒螯蟹死亡系数分别为 $Z_{\text{♀}} = 5.03, Z_{\text{♂}} = 3.84, Z_{\text{总}} = 4.51,$ 自然死亡系数 (17.5°C) 分别为 $M_{\text{♀}} = 1.72, M_{\text{♂}} = 1.66, M_{\text{总}} = 1.50,$ 捕捞死亡系数分别为 $F_{\text{♀}} = 3.31, F_{\text{♂}} = 2.18, F_{\text{总}} = 3.01,$ 开发率 $E_{\text{♀}} = 0.66, E_{\text{♂}} = 0.57, E_{\text{总}} = 0.67.$

根据图 6 中线性拟合关系, 计算线性回归中未被使用的各点 $\ln(N/dt)$ 的观察值与期望值之比的累积率, 用“Logistic”曲线估算得出当中华绒螯蟹平均选择甲壳宽 (捕获概率达 50%) $L_c = 30.15 \text{ mm};$ 此外黄河口中华绒螯蟹呈现连续性、单峰补充模式, 主要补充期分别为 8、9、10 月 (图 7)。

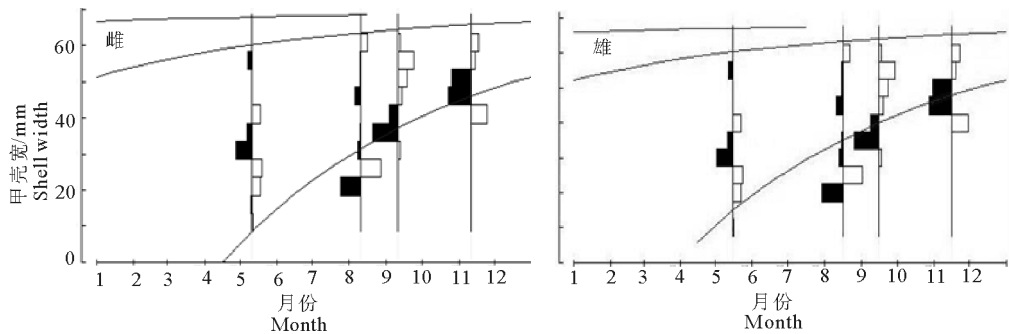


图 5 中华绒螯蟹甲壳宽频率时间序列及生长曲线

Fig.5 Shell width frequency of female and male *E. sinensis* with growth curves

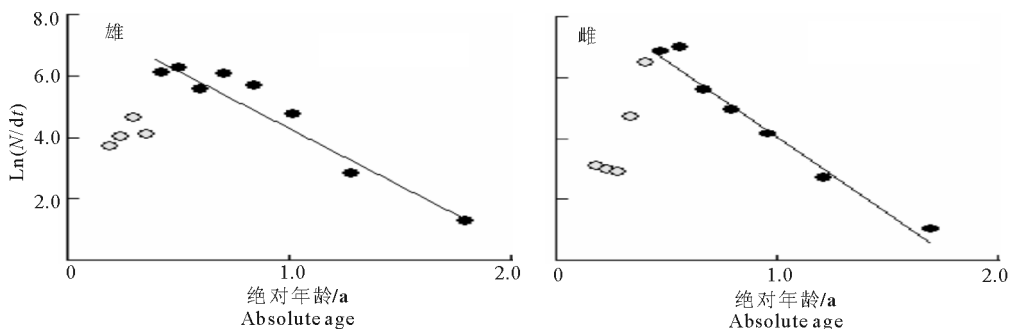


图 6 中华绒螯蟹总死亡系数

Fig.6 Mortality coefficient of male and female *E. sinensis*

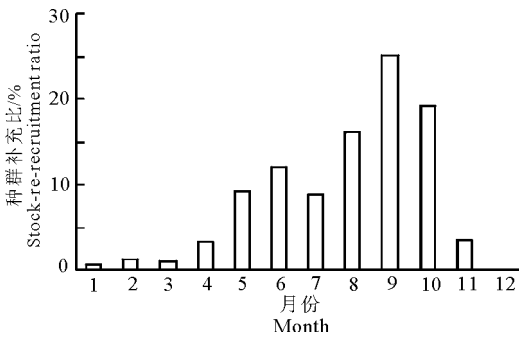


图7 中华绒螯蟹种群补充模式

Fig.7 Recruitment pattern of *E. sinensis* population

3 讨论

3.1 群体特征

本研究结果,5月、8月、9月、11月中华绒螯蟹的优势体重范围和优势甲壳宽范围逐渐递增,11月体重和壳宽的平均值经 t 检验分析,较其他月份有显著差异($P < 0.05$),一定程度上表明9-11月是中华绒螯蟹索饵育肥和快速生长阶段。按总样本的统计结果来看,黄河口中华绒螯蟹平均体重和平均壳宽略小于2012年同期长江口中华绒螯蟹(管卫兵等,2013)。

中华绒螯蟹的壳宽与体重之间存在着明显的幂指数关系。张列士等(2001)的研究表明甲壳类头胸甲宽与体重的关系近似符合一般鱼类的生长规律($b = 3$),也有其他学者对蟹类的研究表明 b 的分布范围主要在2.5~3.5(何杰等,2005;汪留全等,1989)。本研究 b 值均小于3,说明中华绒螯蟹是变速生长;与汪留全等(1989)计算养殖的中华绒螯蟹 b 值(3.11)进行 t 检验,呈显著差异($0.01 < P < 0.05$),与刘凯等(2007)计算的长江口中华绒螯蟹 b 值(2.50)相比较,差异不显著($P > 0.05$);这表明不同发育阶段、不同区域, b 值差异较大,生长速率不同。此外常剑波等(1994)的研究还表明胃饱满度、疾病也能够引起 b 值的变化。

3.2 生长特性

由生长方程可知,黄河口中华绒螯蟹大约在4、5月孵出大眼幼体,此时大眼幼体营底栖生活,能够逆流上溯至盐度较低的黄河河道内。理论上6月份前后有大量大眼幼体索饵洄游,并形成洄游汛期,然而现实情况是幼苗汛期已经若干年未见。笔者推测原因是:一方面过度捕捞导致蟹类资源量大幅下降,另一方面每年6-7月份黄河调水调沙导致流速改变从而破坏了蟹苗的生活习性。大眼幼体经过6~7个月的发育至年底甲壳宽可达到40 mm左右,其

最大甲壳宽可以在第3年的时候达到70 mm以上。Gulland(1971)提出种群最适开发利用率为 $E = 0.5$,但仅限于生命周期较长的鱼类,本研究所得出的 $E = 0.67$,虽超过最适开发利用率,但对于生命周期较短的中华绒螯蟹来说并不能确定是否处于过度捕捞阶段。渐近甲壳宽是蟹类所能达到的最大理论甲壳宽,生长参数是决定蟹类达到其渐近甲壳宽的速度的曲率参数,生命周期越长,其达到最大甲壳宽所用的时间越长,对应的生长参数越小(詹秉义,1995)。本研究发现黄河口中华绒螯蟹的渐近甲壳宽远小于长江口常熟段中华绒螯蟹($L_{\infty} = 93.50$)(景丽,2012),而生长参数略高于长江口常熟段中华绒螯蟹($k = 1.1$)(景丽,2012),这表明黄河口中华绒螯蟹的生长周期较短,成熟个体甲壳宽要小于长江口中华绒螯蟹,直观上表现为个体较小,也一定程度上影响了黄河口中华绒螯蟹的经济价值。丁张妮等(2014)的研究表明,不同盐度对蟹类摄食行为的胁迫比较大,进而会影响到其生长速度;金刚等(1999)研究表明温度对蟹类的摄食率也有较大影响,此外河口的深度、饵料丰富度等因素也会对中华绒螯蟹的生长产生一定影响。因此对黄河口和长江口中华绒螯蟹种群差异性的影响因素需要进一步研究和探索。研究还发现黄河口与长江口常熟段中华绒螯蟹开发率相似,但黄河口中华绒螯蟹死亡率远低于长江口常熟段中华绒螯蟹,其原因需要进一步的研究论证。通过对种群补充模式的分析表明,黄河口中华绒螯蟹种群补充单峰值出现在8-10月,此时间段与山东省所施行的禁渔期相吻合,从另一方面证明了禁渔期的施行对中华绒螯蟹资源的可持续开发与保护意义重大。

3.3 FiSAT II 软件计算中华绒螯蟹生长特性的适用性

由于虾蟹类存在蜕壳现象,其生长具有非连续性特征,对于其生长参数的估算存在一定难度。但近年来 Peter 等(1992)研究认为,由于繁殖群体所有成员不是在同一时间蜕皮生长,总体生长呈连续性,虾蟹类同样可以应用 Von Bertalanffy 方程描述。当生长参数 k 满足 $e^{-k} < 1$ 时,表明 VBFG 方程能够较好地拟合水生生物的生长(费鸿年等,1991)。本研究运用 FiSAT II 软件拟合的生长参数 $e^{-k} = 0.15 < 1$,表明用 VBFG 方程可以较好地拟合中华绒螯蟹的生长。此外,计算出的渐进甲壳宽及平均选择甲壳宽($L_{\infty} = 74.55, L_c = 30.15$)也与目前渔获物的优势组甲壳宽大体一致,理论上计算得出的 t_0

符合在实际生产捕捞过程中基本情况, 证明了在中华绒螯蟹生物学参数研究方面应用 FiSAT II 软件的可靠性。

参考文献

常剑波, 孙建贻, 段中华, 等, 1994. 网湖似刺鲃种群生长和死亡率研究[J]. 水生生物学报, 18(3): 230 - 239.

陈国宝, 李永振, 陈丕茂, 等, 2008. 鱼类最佳体长频率分析组距研究[J]. 中国水产科学, 15(4): 659 - 666.

丁张妮, 徐永健, 林建华, 等, 2014. 盐度对三疣梭子蟹摄食行为及生长特性的影响[J]. 生态科学, 33(5): 899 - 903.

费鸿年, 张诗全, 1991. 水产资源学[M]. 北京: 科学出版社: 303 - 305.

高春霞, 田思泉, 戴小杰, 2014. 淀山湖刀鲚的生物学参数估算及其相对单位补充量渔获量[J]. 应用生态学报, 25(5): 1506 - 1512.

管卫兵, 杨牧川, 王成辉, 2013. 长江口九段沙中华绒螯蟹资源状况分析[J]. 江苏农业科学, 41(12): 244 - 248.

国家海洋局, 2007. 海洋调查规范: GB/T 12763-2007[S]. 北京: 中国标准出版社.

何杰, 2005. 中华绒螯蟹池塘生态养殖群体生长特征研究[J]. 水利渔业, 25(6): 10 - 11.

贺舟挺, 徐开达, 薛利建, 等, 2009. 东海北部葛氏长臂虾生长死亡参数及资源量、渔获量的分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 28(3): 286 - 291.

金刚, 李钟杰, 雷武, 1999. 长江中游湖泊放流河蟹的生长动态[J]. 水生生物学报, 23(3): 249 - 256.

景丽, 2012. 长江下游干流中华绒螯蟹种群特征的研究[D]. 南京: 南京农业大学.

刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等, 2007. 长江口中华绒螯蟹亲体捕捞量现状及波动原因[J]. 湖泊科学, 19(2): 212 - 217.

吴金明, 娄必云, 赵海涛, 等, 2011. 赤水河鱼类资源量的初步估算[J]. 水生态学杂志, 32(3): 99 - 103.

吴斌, 方春林, 贺刚, 等, 2015. FiSAT II 软件支持下鄱阳湖通

长江水道鲤鱼的生物学参数估算[J]. 水产科学, 34(4): 256 - 260.

汪留全, 周婉华, 1989. 池养中华绒螯蟹幼蟹生长特性的初步研究[J]. 水产学报, 13(1): 17 - 23.

詹秉义, 1995. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社: 312 - 315.

张列士, 陆锦天, 2001. 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*) 蜕壳和生长的研究进展[J]. 水产科技情报, 28(6): 246 - 250.

张航利, 2013. 长江口中华绒螯蟹放流群体与自然群体适应性比较研究[D]. 上海: 上海海洋大学.

Atar H H, Secer S, 2003. Width/length-weight relationships of the blue crab (*Callinectes sapidus* Rathbun, 1896) population living in Beymelek Lagoon Lake[J]. Turk J Vet Anima Sci, 27(2): 443 - 447.

Gulland J A, 1971. Fish stock assessment: a manual of basic methods[M]. New York: FAO/Wiley Ser 1: 223.

JAYAWARDANE P A A T, McLUSKY D S, TYTLER P, 2002. Estimation of population parameters and stock assessment of *Penaeus indicus* (H. Milne Edwards) in the Western Coastal waters of Sri Lanka[J]. Asian Fisheries Science, 15(4): 155 - 166.

Pauly D, David N, ELEFAN I, 1981. A basic program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data [J]. Meeresforschung, Reports on Marine Research, 28(4): 205 - 211.

Pauly D, 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. ICES Journal of Marine Science, 39(2): 175 - 192.

Peter K Bergman, Frank Haw, H Lee Blankenship, et al, 1992. Perspectives on Design, Use, and Misuse of Fish Tags[J]. Fisheries, 17(4): 20 - 25.

(责任编辑 张俊友)

Growth Characteristics of Wild *Eriocheir sinensis* in the Yellow River Estuary

CONG Xu-ri, LI Xiu-qi, DONG Guan-cang, KE Han, SHI Ji-hua, SUN Lu-feng

(Shandong Freshwater Fisheries Research Institute, Jinan 250013, P.R.China)

Abstract: *Eriocheir sinensis* (Chinese mitten crab) is an important economic species in the Yellow River estuary. However, the production of *E. sinensis* has sharply declined in recent years because of severe overfishing and deterioration of water quality and *E. sinensis* has become the primary species for the release program meant to enhance the population. In this study, we analyzed growth, mortality, exploitation rate and population patterns using fish stock assessment software (FiSAT II), aiming to more fully understand the biology and growth characteristics of *E. sinensis*, provide information to improve the release program and verify the feasibility of using FiSAT II to estimate the growth parameters of crustaceans. The study was based on a stake net survey of *E. sinensis* carried out in May, August, September and November of 2016. A total of 634 *E. sinensis* were captured, including 264 males and 370 females. The shell width and body weight ranges were 11 - 73 mm and 5.8 - 149.0 g, dominated by crabs with shell widths of 20 - 50 mm and body weights of 10.0 - 80.0 g. Length Frequency Analysis gave growth parameters for females of $k=1.90$, $L_{\infty}=69.30$ mm, $t_0=-0.091$, $L_t=63.00[1 - e^{-1.80(t+0.091)}]$ and, for males, $k=1.80$, $L_{\infty}=68.25$, $t_0=-0.098$, $L_t=68.25[1 - e^{-1.80(t+0.098)}]$. The total mortality (Z), natural mortality (M), fishing mortality (F) and exploitation rate (E) of the *E. sinensis* population were, respectively, 4.51, 1.50, 3.01 and 0.67, and the exploitation rate of *E. sinensis* was significantly higher than normal. The new generation of *E. sinensis* megalopa appear from the end of April to early May and reach maximum shell length (>70 mm) in the third year. *E. sinensis* recruitment peaks once a year, from August to October, corresponding to the period when fishing is prohibited. The biological parameter $e^{-k} = 0.15 < 1$ of *E. sinensis*, estimated using FiSAT II, indicates that the VBFG equation can be used to describe *E. sinensis* growth. In addition, the asymptotic shell width and average shell width ($L_{\infty}=74.55$, $L_c=30.15$) were in good agreement with the shell width of *E. sinensis* catches from the Yellow River estuary and the value of t_0 was consistent with actual fishing practices, showing that FiSAT II is a reliable means for estimating biological parameters and growth characteristics.

Key words: *Eriocheir sinensis*; growth characteristics; FiSAT II; Yellow River estuary