

# 中街山列岛海域厚壳贻贝生物学特征及生长规律\*

梁 君 虞宝存 毕远新 王伟定\*\*

(浙江省海洋水产研究所, 农业部重点渔场渔业资源科学观测实验站, 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江舟山 316021)

**摘 要** 根据 2013 年 4 月—2014 年 2 月厚壳贻贝 I 龄个体跟踪调查和 2013 年 8—12 月 II 龄个体取样调查数据, 利用 Taylor 公式、线性函数和 Von Bertalanffy 生长方程对中街山列岛海域厚壳贻贝生物学特征及生长规律进行了分析。结果表明: 雌雄样本间壳长、壳高、壳宽、体重、贝壳重和软组织湿重差异不显著; 壳长与壳高、壳宽之间有极显著的线性正相关关系, 壳长与体重、贝壳重、软组织湿重之间有极显著幂函数关系; 壳长生长方程为  $L_t = 87.48(1 - e^{-0.348(t+0.913)})$ , 体重生长方程为  $W_t = 79.51(1 - e^{-0.348(t+0.913)})^3$ ; 8—10 月是厚壳贻贝生长旺季, 8 月下旬为性成熟拐点, 建议厚壳贻贝春季苗的最佳收获期为 10 月中旬。

**关键词** 中街山列岛; 厚壳贻贝; 生物学; 生长方程; 拐点

**中图分类号** S932 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2015)2-0471-06

**The biological characteristics and growth patterns of *Mytilus coruscus* in the waters of Zhongjieshan Islands.** LIANG Jun, YU Bao-cun, BI Yuan-xin, WANG Wei-ding\*\* (*Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources for Key Fishing Grounds, MOA, Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fisheries Resources of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, Zhejiang, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2015, **34**(2): 471-476.

**Abstract:** *Mytilus coruscus* is an economic mollusc and good object for artificial propagation and culture, but there are very few reports about its biological characteristics so far. Based on the data of tracking survey of one-year-old *M. coruscus* from April 2013 to February 2014 and of sampling survey of two-year-old *M. coruscus* during August to December 2013, Taylor formula, linear function and Von Bertalanffy growth equation were used to analyze their biological characteristics and growth patterns in the waters of Zhongjieshan Islands. The result showed that there were no obvious differences in shell length, shell height, shell width, body weight, shell weight and wet weight of soft tissues between male and female individuals. There were significant positive linear correlations between shell length and shell height and shell width. Moreover, there were significant power function relationships between shell length and body weight, shell weight, and wet weight of soft tissues. The growth equations of shell length and body weight were as follows:  $L_t = 87.48(1 - e^{-0.348(t+0.913)})$  and  $W_t = 79.51(1 - e^{-0.348(t+0.913)})^3$  respectively. The period between August and October was considered to be the rapid growth season, and inflection point of sexual maturity of *M. coruscus* was in late August. It was proposed that mid-October was the best harvest season for spring seeding.

**Key words:** Zhongjieshan Islands; *Mytilus coruscus*; biology; growth equation; inflection point.

厚壳贻贝 (*Mytilus coruscus*) 隶属软体动物门, 瓣鳃纲、贻贝目、贻贝科、贻贝属, 俗称青口或海红, 其

干制品称为淡菜, 为温水性种, 北至中国辽宁大连, 南至福建东山均有分布, 以浙江沿海资源量最大, 是舟山海域特有的贻贝品种之一(何建瑜等, 2012)。厚壳贻贝养成品, 个头大, 出肉率高, 营养丰富, 味道鲜美, 深受国内外消费者青睐, 无论是鲜品还是颗粒速冻加工品, 销价均比紫贻贝 (*Mytilus edulis*) 高出 3

\* 浙江省海洋经济和渔业新兴产业补助项目(浙海渔计[2012]146号)、2012 年中央财政海洋牧场项目(浙财农[2012]460 号)和浙江省科技厅项目(2014F30023 和 2014F10039)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: wdwang@sohu.com

收稿日期: 2014-05-09 接受日期: 2014-11-06

倍以上,养殖单位纷纷开始转向养殖经济效益更高的厚壳贻贝。舟山海域是厚壳贻贝的原产地(常抗美等, 2007),其自然分布主产区为马鞍列岛、浪岗山列岛和中街山列岛等 3 个海域。由于外来移植种——紫贻贝(张义浩, 2009)和外来入侵种——地中海贻贝(*Mytilus galloprovincialis*)(申望等, 2011)的影响,后续的生物多样性和生态环境的研究值得关注,且目前尚无厚壳贻贝的生物学特征方面的报道,仅有朱爱意等(2006)对紫贻贝的生物学研究。为了开展中街山列岛海洋牧场调查和碳汇能力示范研究,笔者于 2013 年 4 月—2014 年 2 月通过对中街山列岛海域养殖厚壳贻贝进行持续跟踪观察,探析该海域厚壳贻贝生物学特征及生长规律,以期为厚壳贻贝的规模化养殖和下一步开展深入科学研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料来源

255 个厚壳贻贝采自于中街山列岛庙子湖贝类筏式养殖区,见图 1 矩形区,边界点分别为 A1(30° 11.324' N, 122° 40.853' E)、A2(30° 10.972' N, 122° 40.941' E)、A3(30° 11.002' N, 122° 41.120' E)和 A4(30° 11.354' N, 122° 41.033' E)。2013 年 4 月—2014 年 2 月记录了 I 龄个体从包苗到收获的全部过程,跟踪调查 6 次(偶数月调查),每次取样 30 个,共取样 180 个;2013 年 8—12 月对 75 个 II 龄个体(2012 年 7 月苗种)的生物学参数进行了测量。

1.2 方法

实验室用剪刀剪去厚壳贻贝样品壳外的足丝,仔细洗净贝壳表面的污物及附着生物,测量壳长(L)、壳高(H)、壳宽(SW)、体重(W)、贝壳重(CW)和软组织湿重(WW)(朱爱意等, 2006),样品长度使用上海量具刀刃厂生产的 3V 锂电数显卡尺测量

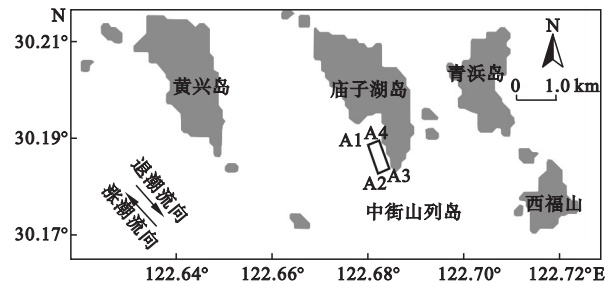


图 1 调查区域示意图  
Fig.1 Sampling zone of Zhongjieshan Islands

(精度 0.01 mm);样品重量先用干毛巾擦干贝壳体表水至肉眼看不到水渍,然后用上海浦春计量仪器有限公司生产的 JY1002 型号电子天平称量(精度 0.01 g)。厚壳贻贝雌雄异体,考虑壳长 4 cm 以前难以区分雌雄(张义浩等, 2003),从 II 龄个体中随机抽取 60 个样本进行观察,成熟的雄性性腺为乳白色,雌性为橘黄色,同时进行雌雄样本生物学参数的差异显著性分析。

结合 Excel 2010 及 SPSS 19.0 软件对所有数据进行统计处理。利用 Taylor 公式  $W = aL^b$  拟合厚壳贻贝的体重-壳长、贝壳重-壳长、软组织湿重-壳长的关系,式中  $L$  为壳长, $W$  为相对应的重量, $a$  为生长的条件因子, $b$  为幂指数。用  $Y = mX + n$  拟合厚壳贻贝的壳高-壳长和壳宽-壳长的关系,式中, $Y$  为壳高或壳宽, $X$  为壳长, $m$  和  $n$  为常数。采用 Von Bertalanffy 生长方程拟合厚壳贻贝的生长(陈品健等, 1988),壳长生长方程为  $L_t = L_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]$ ,体重生长方程为  $W_t = W_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^3$ ,式中, $L_t$  和  $W_t$  分别为第  $t$  月时的平均壳长和体重值, $L_{\infty}$  和  $W_{\infty}$  为渐进壳长和体重值, $t$  为生长时间,本文以双月为时间单位, $t_0$  表示理论上壳长和体重等于 0 对应的时间, $K$  为壳长和体重的生长系数。

2 结果与分析

2.1 雌雄样本生物学参数差异

对随机抽取的 60 个 II 龄厚壳贻贝进行雌雄样本壳长、壳高、壳宽、体重、贝壳重和软组织湿重的差异显著性分析(表 1)。

$t$  检验结果表明,雌雄个体各生物学参数差异不显著( $P > 0.05$ ),说明在相同养殖条件下,雌雄个体间壳长、壳高、壳宽、体重、贝壳重和软组织湿重等方面生长速度相近。以下回归分析均采用雌雄混合总体样本分析。

2.2 壳长与壳高、壳宽的关系

根据实测数值,利用回归分析获得壳高( $H$ )与壳长( $L$ )关系为  $H = 5.297 + 0.434L$  ( $n = 255, R^2 = 0.955, P < 0.0001$ ),壳宽( $SW$ )与壳长( $L$ )关系为  $SW = 0.579 + 0.335L$  ( $n = 255, R^2 = 0.936, P < 0.0001$ ),表明壳长与壳高、壳宽之间有极显著的线性正相关关系(图 2)。

2.3 壳长与体重、贝壳重、软组织湿重的关系

根据实测数值,利用回归分析获得体重( $W$ )与壳长( $L$ )关系为  $W = 0.0001L^{2.893}$  ( $n = 255, R^2 = 0.977$ ,

表 1 雌雄厚壳贻贝样本各生物学参数差异显著性分析

Table 1 Biological parameters of *Mytilus coruscus* male and female individuals

性别	壳长 (mm)	壳高 (mm)	壳宽 (mm)	体重 (g)	贝壳重 (g)	软组织湿重 (g)
雄 (♂)	80.96±1.76	40.85±0.67	27.61±0.63	47.48±2.64	22.95±1.47	24.52±1.25
雌 (♀)	79.09±1.17	39.95±0.64	27.23±0.66	44.27±2.24	21.37±1.24	22.91±1.08
P 值	0.282	0.340	0.098	0.956	0.981	0.792

平均值±标准误。雄 25 只,雌 35 只。

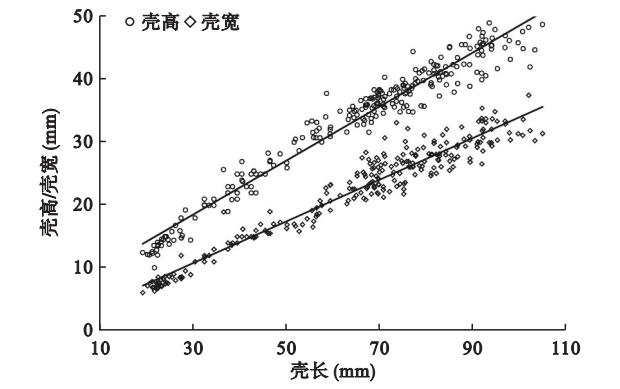


图 2 壳长与壳高、壳宽的关系

Fig.2 Relationship between shell length and shell height and shell width of *Mytilus coruscus*

$P<0.0001$ ),表明体重与壳长两者间有极显著幂函数关系(图 3);贝壳重( $CW$ )与壳长( $L$ )关系为  $CW=0.0001L^{2.718}$  ( $n=255, R^2=0.969, P<0.0001$ ),表明贝壳重与壳长两者间有极显著幂函数关系(图 4);软组织湿重( $WW$ )与壳长( $L$ )关系为  $WW=0.00003L^{3.098}$  ( $n=255, R^2=0.973, P<0.0001$ ),表明软组织湿重与壳长两者间有极显著幂函数关系(图 5)。

2.4 生长方程

Von Bertalanffy 生长方程可以用于拟合贝类的生长。2013 年 4 月—2014 年 2 月实测的厚壳贻贝生长变化见表 2。采用 Ford-Walford 生长变换法计

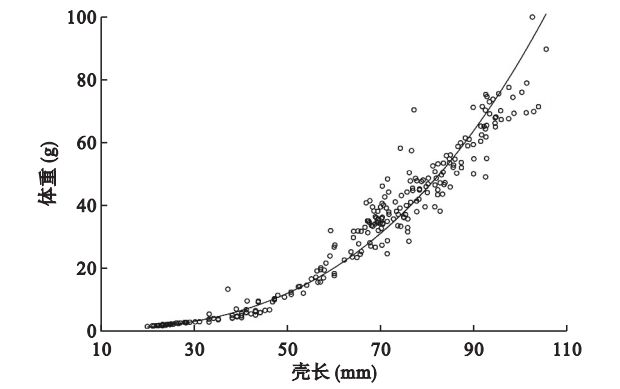


图 3 壳长与体重的关系

Fig.3 Relationship between shell length and body weight of *Mytilus coruscus*

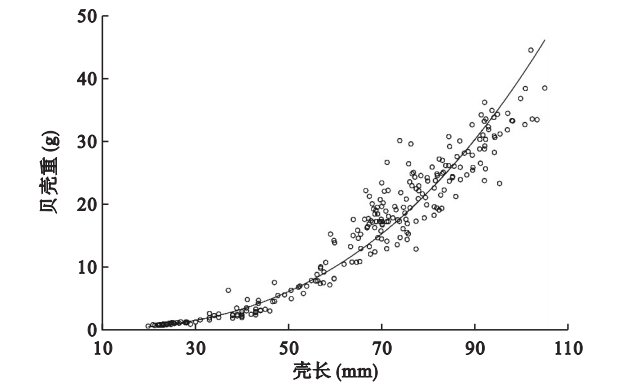


图 4 壳长与贝壳重的关系

Fig.4 Relationship between shell length and shell weight of *Mytilus coruscus*

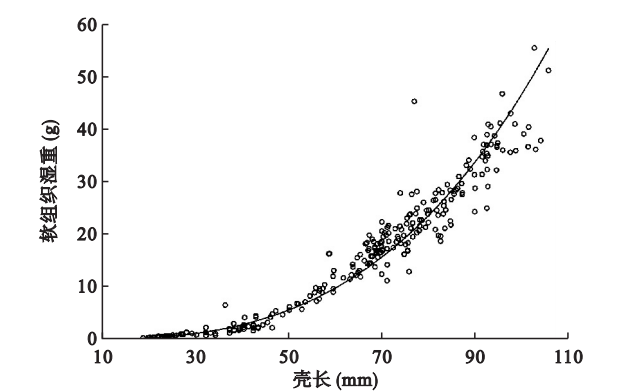


图 5 壳长与软组织湿重的关系

Fig.5 Relationship between shell length and wet weight of soft tissues of *Mytilus coruscus*

表 2 2013 年 4 月—2014 年 2 月厚壳贻贝实测生长变化与理论值比较

Table 2 Comparison of theoretical values and measured values of *Mytilus coruscus* from April 2013 to February 2014

月份	实测值				理论值	
	壳长 (mm)	壳长增长量 (mm)	体重 (g)	体重增长量 (g)	壳长 (mm)	体重 (g)
2013-04	24.34	—	1.57	—	23.81	1.60
2013-06	39.47	15.13	4.57	3.00	42.52	9.13
2013-08	56.23	16.76	13.54	11.63	55.74	20.56
2013-10	69.90	13.67	36.71	20.51	65.07	32.72
2013-12	74.71	4.81	40.72	4.01	71.65	43.69
2014-02	75.18	0.47	44.10	3.38	76.31	52.77

算出各生长参数为  $L_{\infty} = 87.48, W_{\infty} = 79.51, K = 0.348, t_0 = -0.913$ 。因此得到厚壳贻贝壳长生长方程为  $L_t = 87.48(1 - e^{-0.348(t+0.913)})$ ; 体重生长方程为  $W_t = 79.51(1 - e^{-0.348(t+0.913)})^3$ 。

根据得到的壳长和体重生长方程,推算出厚壳贻贝双月生长理论值(表 2),与实测值相对比,两者十分接近,说明获得的壳长和体重生长方程符合厚壳贻贝的生长规律。由方程绘制的曲线见图 6 和图 7,可以看出厚壳贻贝壳长生长不具拐点,随着时间推移逐渐转慢并趋向渐近值  $L_{\infty}$ ;而厚壳贻贝体重生长曲线为不对称的“S”型,随着时间推移,4—6 月慢速生长,6—10 月进入快速生长阶段,10 月之后再转入滞缓生长期。

2.5 生长速度、加速度和拐点

了解厚壳贻贝整个生命过程的生长速度,并选择其生长速度达到最大值时加以利用,对于养殖生产取得最佳产量无疑有着积极的指导意义。生长速度达到最大值的时间即为拐点,拐点是生物生理和环境条件的综合反映(楼宝, 2000)。

分别对厚壳贻贝壳长、体重方程求一阶和二阶导数,获得瞬时生长速度和生长加速度。壳长生长速度为  $dL/dt = 34.44e^{-0.348(t+0.913)}$ (图 8);壳长生长加速度为  $d^2L/d^2t = 11.98e^{-0.348(t+0.913)}$ (图 9)。体重生长

速度为  $dW/dt = 83.01e^{-0.348(t+0.913)}[1 - e^{-0.348(t+0.913)}]^2$ (图 10); 体重生长加速度为  $d^2W/d^2t = 28.89e^{-0.348(t+0.913)}[1 - e^{-0.348(t+0.913)}][3e^{-0.348(t+0.913)} - 1]$ (图 11)。

从图 8 和图 9 可以看出,壳长的生长速度和加速度均随时间的增加而下降,说明 4 月份包苗是合适的。从图 10 可以看出,体重生长速度在 8 月之后,随时间增长而降低。与此同时,体重生长加速度在  $t = 2.24$  之前为正值,体重处于递增阶段,之后变成负值,生长速度变缓(图 11),说明体重生长拐点为 2.24,而对应的时间轴是 8 月下旬。从图 11 还可

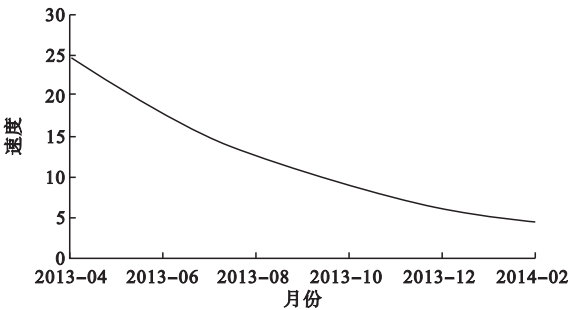


图 8 厚壳贻贝壳长生长速度曲线  
Fig.8 Shell length growth speed curve of *Mytilus coruscus*



图 9 厚壳贻贝壳长生长加速度曲线  
Fig.9 Shell length growth acceleration curve of *Mytilus coruscus*

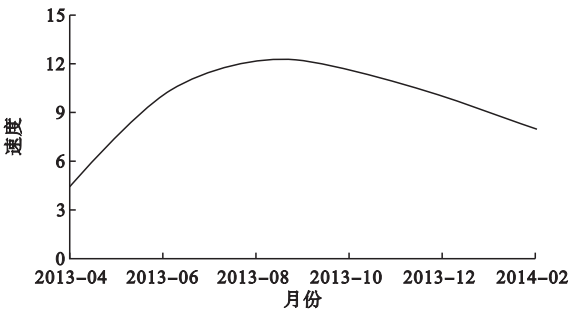


图 10 厚壳贻贝体重生长速度曲线  
Fig.10 Body weight growth speed curve of *Mytilus coruscus*

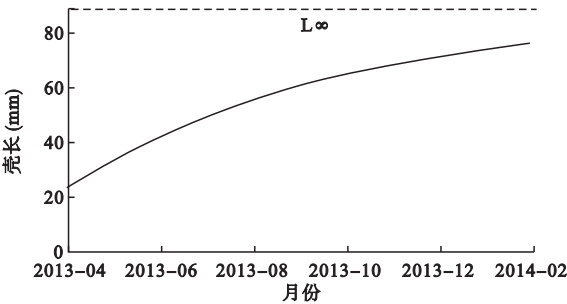


图 6 厚壳贻贝壳长生长曲线  
Fig.6 Shell length growth curve of *Mytilus coruscus*

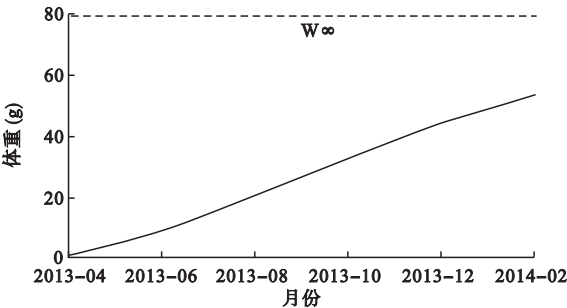


图 7 厚壳贻贝体重生长曲线  
Fig.7 Body weight growth curve of *Mytilus coruscus*



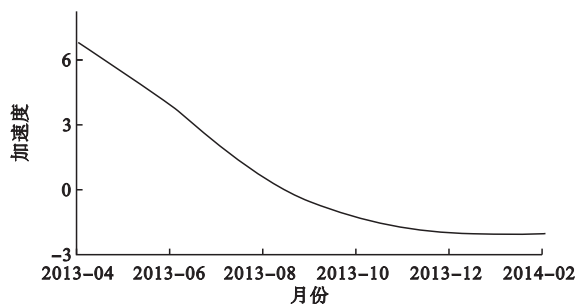


图 11 厚壳贻贝体重生长加速度曲线

Fig.11 Body weight growth acceleration curve of *Mytilus coruscus*

看出,在 12 月—翌年 2 月,厚壳贻贝体重生长加速度为负,且维持在一一定的水平,出现典型的停滞生长。

### 3 讨 论

#### 3.1 生物学特征

厚壳贻贝壳长与壳高、壳宽呈现极显著的线性正相关关系,三者均以一定的速度平稳上升,可见 I 龄苗种在生长过程中,厚壳贻贝的外形基本保持不变,呈现均匀生长的态势。Taylor 公式  $W=aL^b$  通常被用于表达鱼类体长与体重的关系,本研究用该公式拟合重量与壳长的关系,结果显示具有较强的拟合性,这一结果与朱爱意等(2006)研究紫贻贝及石琮等(1996)研究翡翠贻贝(*Perna viridis*)的结果相一致。Ricker(2012)认为, $b$  值可以用于判断鱼类是否处于匀速增长,当  $b=3$  时,表示该鱼类为匀速生长; $b \neq 3$  时,表示异速生长。这种判定方法也在尖刀蛭(*Cultellus scalprum*) (陈品健和倪法鸿, 1988) 和太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*) (楼宝, 2000) 上得到尝试,本研究厚壳贻贝的体重( $b=2.893$ )、贝壳重( $b=2.718$ )、软组织湿重( $b=3.098$ )和壳长的幂指数  $b \approx 3$ ,表明厚壳贻贝重量与壳长的立方呈比例关系,属于匀速生长类型。

#### 3.2 海水温盐与厚壳贻贝生长的关系

温度是影响水生变温动物生长和其他生理过程的重要环境因子之一(郝振林等, 2014)。叶鹏等(2006)指出厚壳贻贝生长适宜水温  $4 \sim 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最适水温  $15 \sim 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最适盐度  $24.6 \sim 35.8$ 。本研究测得水温范围  $10.3 \sim 25.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,盐度范围  $28.4 \sim 31.5$ ,均在最适温盐范围之内。研究相关关系时,将 4 月调查视为春季,6 月和 8 月为夏季,10 月为秋季,12 月和翌年 2 年为冬季。笔者对壳长和体重与该海域盐度

之间的关系进行耦合分析,发现并无相关性。利用回归分析获得壳长( $L$ )与表温( $T$ )关系为  $L=T^{3.8}$  ( $R^2=0.939, P=0.031<0.05$ ),体重( $W$ )与表温( $T$ )关系为  $W=1.29T^{1.28}$  ( $R^2=0.920, P=0.041<0.05$ ),表明温度与中街山列岛海域厚壳贻贝的壳长和体重之间关系密切。这一结论与王辉等(2007)得出的墨西哥湾扇贝(*Argopecten irradians concentricus*)重量增长速度与环境水温有一定对应关系的观点相符。

#### 3.3 Von Bertalanffy 生长方程的合理性及其生长参数在养殖和收获中的指导意义

本文对厚壳贻贝一个养殖周期内的壳长和体重增长作了研究。结果表明,Von Bertalanffy 生长方程描述厚壳贻贝壳长和体重增长过程不但具有极高的拟合精度,而且各参数均与生产实际具有较高的吻合度,如生长极限值、生长拐点、快速生长区间起点和止点。高产、高效是养殖生产追求的目标,根据本研究体重增长速度结果,8—10 月是厚壳贻贝生长旺季,8 月下旬出现体重生长拐点。陈品健等(1988)提出拐点在生物学上有两种意义,一种是性成熟拐点,另一种是衰老拐点。本研究 I 龄厚壳贻贝经过一个生长周期后,平均壳长和体重均接近 II 龄个体(表 1),8 月下旬之前增长较快,之后生长速度迅速减慢,并且体重生长拐点的时间和性成熟时间基本可以对应(张义浩, 2009),因此推测  $t=2.24$  为厚壳贻贝性成熟拐点。此外,根据生长测量结果,10 月体重实测值( $36.71\text{ g}$ )超过了理论值( $32.72\text{ g}$ ),若单从养殖成本和效果来讲,建议厚壳贻贝春季苗的最佳收获期为 10 月中旬左右。若从厚壳贻贝筏式养殖包苗或增殖放流角度来讲,4—5 月是较为合适的月份,当年即可收获;若放养秋苗,则应规避夏末秋初台风高发季带来的损失,适合于在 11—12 月进行包苗,这一阶段为厚壳贻贝性腺发育的复原期(张义浩等, 2003),秋苗可平稳过渡进入下一个生长周期,成为 II 龄苗。

#### 3.4 中街山列岛海域贝类养殖产业发展建议

外来物种入侵对生物多样性及生态环境的影响一直是生态研究的热点问题(Mooney *et al.*, 2001)。Ellstrand 等(1993)提出,通过杂交和基因渐渗污染本地土著物种基因组,影响土著物种对环境的适应能力甚至使之灭绝是外来入侵物种危害的主要方面之一。有报道指出,舟山海域存在厚壳贻贝与紫贻贝(张义浩等, 2003)和厚壳贻贝与地中海贻贝(申望等, 2011)的“杂交群体”。虽然 PCR 鉴

别标记证实地中海贻贝通过杂交和基因渐渗污染土著物种厚壳贻贝基因组的风险极小,但是形态鉴定结果认为马鞍列岛海域存在紫贻贝和厚壳贻贝的“杂交贻贝”。在对中街山列岛海域周年调查过程中,发现了少量与紫贻贝和厚壳贻贝明显不同的贻贝,还零星可见该海域未曾养殖过的翡翠贻贝。因此,中街山列岛海域厚壳贻贝生存威胁风险依然存在,该海域较适宜贝类的生长繁殖,应提早预防外来物种和其他兼养品种对土著厚壳贻贝的生态位带来的可能风险。

浙江省嵊泗县是我国厚壳贻贝的原产地和紫贻贝的集中养殖区,相较嵊泗而言,中街山列岛海域贝类养殖仍然有限,该海域目前厚壳贻贝养殖面积约33 hm<sup>2</sup>,由于当地厚壳贻贝幼苗大部分来源于前一年的产卵亲体,导致当年补充群体不足,所以当地仍保有紫贻贝养殖面积10 hm<sup>2</sup>。中街山列岛海域紫贻贝养殖面积远不及嵊泗的1/100,但是厚壳贻贝在浙江省的贝类产量中仍占据一定的份额。近年来,由于厚壳贻贝的市场价格看涨,其经济效益高于紫贻贝3倍以上,为了追求更高的养殖经济效益、适应市场化和形成保护区特色品种的需要,建议当地政府采用有偿补助的方式鼓励紫贻贝养殖户转而投入厚壳贻贝的养殖,同步发展厚壳贻贝深加工,使厚壳贻贝成为当地金牌产业。另外,不足苗源可通过以下三种途径获得:第一,建立种苗基地,加快人工育苗和海区保苗的技术研究和资金投入;第二,在追求经济效益的同时,应保留一定数量的“种贝”;第三,开展贝类针对性管理,限制“赶海”和严禁潜水采集,以保证一定的厚壳贻贝种群和产卵亲体数量。

**致谢** 本研究得到了浙江海洋学院硕士研究生刘小雄同学和本所资源室部分同事的大力协助,完成样品采集、分析等工作,在此谨致谢忱!

## 参考文献

常抗美,吴剑锋. 2007. 厚壳贻贝人工繁殖技术的研究. 南方

水产, 3(3): 26-30.

陈品健,倪法鸿. 1988. 尖刀蛭种群年龄结构和生长特性的研究. 厦门水产学院学报, 10(1): 13-18.

何建瑜,赵荣涛,刘慧慧. 2012. 舟山海域厚壳贻贝软体部分营养成分分析与评价. 南方水产科学, 8(4): 37-42.

郝振林,唐雪娇,丁君,等. 2014. 不同高温水平对虾夷扇贝存活率、耗氧率和体腔液免疫酶活力的影响. 生态学杂志, 33(6): 1580-1586.

楼宝. 2000. 太平洋牡蛎生长特性研究. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 19(3): 303-306.

石琼,陈舜华. 1996. 翡翠贻贝壳长与体重关系的研究. 生态科学, (1): 48-51.

申望,叶茂,王日昕,等. 2011. 舟山海域外来物种地中海贻贝的自然分布现状及生态影响. 台湾海峡, 30(2): 250-256.

王辉,刘志刚,符世伟. 2007. 湛江北部湾海域养殖墨西哥湾扇贝重量性状增长规律的研究. 热带海洋学报, 26(5): 53-59.

叶鹏,蔡厚才,庄定根,等. 2006. 南鹿海区野生贝类增养殖种类初步筛选. 渔业现代化, (4): 26-28.

朱爱意,吴常文,赵向炯. 2006. 舟山近海紫贻贝生物学性状初步研究. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 25(1): 1-4.

张义浩,赵盛龙. 2003. 嵊山列岛贻贝养殖种类生长发育调查. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 22(1): 67-73.

张义浩. 2009. 浙江沿海贻贝种类形态比较研究. 渔业经济研究, (2): 14-20.

Ellstrand NC, Elam DR. 1993. Population genetic consequences of small population size: Implication for plant conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 24: 217-242.

Mooney HA, Cleland EE. 2001. The evolutionary impact of invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98: 5446-5451.

Ricker WE. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 191: 1-382.

**作者简介** 梁君,男,1982年生,工程师,主要从事渔业生态方面的研究. E-mail: junfengliang2008@hotmail.com

**责任编辑** 李风芹