

长牡蛎壳黑选育系 F7 代的生长规律和模型*

徐成勋, 李 琪**

(海水养殖教育部重点实验室(中国海洋大学), 山东 青岛 266003)

摘要: 为研究长牡蛎壳黑选育系 F7 的生长规律, 分别采用了线性回归方程和 Von Bertalanffy、Gompertz 和 Logistic 3 种非线性模型对长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 壳黑选育系 F7 幼虫期和养成期的生长参数进行生长模型构建, 并对长牡蛎壳黑选育系 F7 养成期的壳高、壳长、壳宽分别与总重进行曲线拟合, 以研究长牡蛎壳黑选育系 F7 的生长规律。研究表明, 幼虫期壳高、壳长对日龄的回归方程分别为 $y = 39.7238 + 11.6972x, R^2 = 0.991$; $y = 31.3462 + 9.8028x, R^2 = 0.986$ 。壳高与壳长成线性相关, 回归方程为 $y = 4.8670 + 1.1750x, R^2 = 0.989$ 。养成期长牡蛎壳黑选育系 F7 的总重增长与 Von Bertalanffy 生长模型最符, $R^2 = 0.955$; 长牡蛎壳黑选育系 F7 的总重与壳高、总重与壳长、总重与壳宽分别遵循复合曲线 $y = 0.706 \times 1.055^x, R^2 = 0.991$; $y = 1.336 \times 1.075^x, R^2 = 0.983$; $y = 1.287 \times 1.154^x, R^2 = 0.944$ 。

关键词: 长牡蛎; 壳黑; 生长模型; 生长参数

中图法分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2020)02-045-07

DOI: 10.16441/j.cnki.hdx.20180291

引用格式: 徐成勋, 李琪. 长牡蛎壳黑选育系 F7 代的生长规律和模型[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(2): 45-51.

XU Cheng-Xun, LI Qi. A study on the growth performance and model of the selected strain (F7) of black shell color *Crassostrea gigas*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(2): 45-51.

长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 又称太平洋牡蛎, 具有生长快、抗逆性强、肉质鲜美和营养丰富等优点, 是世界上分布最广、产量最高的经济贝类。自 20 世纪 80 年代, 人工育苗技术日趋成熟, 我国长牡蛎工厂化养殖技术得到迅猛发展, 长牡蛎的养殖产量逐年攀升, 至 2016 年, 我国牡蛎产量超过 483.4 万 t, 占全国贝类养殖总量的 33.4%^[1]。近年来, 随着养殖集约化程度的提高, 养殖长牡蛎开始出现生长缓慢、死亡率高、产量降低等问题^[2], 不利于长牡蛎养殖业的健康持续发展。通过遗传育种, 培育生长快、品质好、抗逆性强的新品种是摆脱长牡蛎产业困境的出路之一。本课题组自 2010 年对长牡蛎进行人工选择, 培育出左右壳和外套膜均是黑色、生长快速的长牡蛎壳黑新品系^[3], 为长牡蛎新品种的培育提供了重要素材。

使用统计学方法对生物的生长进行研究并建立生长模型, 不但可以了解生物的生长过程, 还可以预测其生长规律^[4]。目前, 已有很多学者针对不同物种, 从生理学和数学角度提出了多种不同模型, 如马氏珠母贝 (*Pinctada martensii*)^[5]、墨西哥湾扇贝 (*Argopecten*

irradiansconcentricus)^[6-7]、淡水珍珠蚌 (*Margaritifera margaritifera*)^[8]、华贵栉孔扇贝 (*Chlamys nobilis*)^[9] 等重要的经济贝类。在长牡蛎中, 仅见孔宁等^[10] 对长牡蛎 F3 快速生长选育群体的生长规律做过报道。目前针对长牡蛎壳黑新品系的研究, 主要围绕生长性状的遗传改良^[3], 对环境适应能力^[11] 及壳色遗传机制^[12] 等方面, 尚未有关于其生长特性方面的报道。

本研究利用定期采集的生物学数据, 运用线性回归和 3 种常见的生长模型, 分别对长牡蛎壳黑品系幼虫期和养成期的各生长性状进行了拟合。旨在揭示长牡蛎壳黑品系生长发育特征, 为进一步开展选育工作及大范围的养殖生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料来源

本研究所用材料为第七代长牡蛎壳黑选育群体 (F7)。自 2010 年本课题组对乳山湾 (36°8'N, 121°7'E) 自然存在的野生长牡蛎开展选择育种工作, 先后经过四代家系选育和两代群体选育, 得到了第六代长牡蛎壳

* 基金项目: 山东省良种工程项目(2017LZGC009); 泰山学者种业计划专家项目; 青岛市产业培育计划项目(17-3-3-64-nsh)资助

Supported by the Prospect of Shandong Seed Project(2017LZGC009); Taishan Scholars Seed Program; the Project of Qingdao Industrial Cultivation Program(17-3-3-64-nsh)

收稿日期: 2019-04-27; 修订日期: 2019-06-02

作者简介: 徐成勋(1992-), 男, 博士生。E-mail: xcx_321@163.com

** 通讯作者: E-mail: qili66@ouc.edu.cn

黑选育群体 (F6)。2016年6月,以壳黑 F6 为基础群体,通过对壳高进行选择,获得了壳黑 F7。壳黑 F7 的人工育苗于山东省莱州海益苗业有限公司进行,后转移至山东省荣成市爱莲湾 (37.2°N, 122.6°E) 进行养成。

1.2 人工育苗及养成

解剖成熟的壳黑长牡蛎亲贝进行性别鉴定,鉴定后分别收集精子卵子,在 50:1 的精卵比下将精子卵子充分混合受精。获得的受精卵置于 20 m³ 的水泥池中,于 23 °C 水温下进行孵化。

刚孵化出的 D 形幼虫密度控制为 10 个/mL,随着幼虫生长逐步调整。幼虫培育前期投喂饵料以球等鞭金藻 (*Isochrysis galbana*) 为主,壳高增至 120 μm 后增加扁藻 (*Platymonas* sp.)。培育水温稳定在 23~24 °C,持续充气。每天换水 2 次,换水量 1/3~1/2。当眼点幼虫比例达 20% 左右时,用 200 片栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 壳一串的附着基,垂悬于培育池进行采苗,每片附着基附着 20~30 个长牡蛎稚贝时结束采苗。

稚贝附着后,置于室外沉淀池暂养 3~4 周,确定稚贝充分变态后,转移至山东省荣成市爱莲湾,采用筏式吊绳养殖方式进行养成。长牡蛎吊绳养殖所用的夹苗绳为长度 3~4 m、直径 0.6~0.8 cm 的聚乙烯绳,将附有稚贝的附着基加入苗绳,附着基间距 15~20 cm,每绳夹 15~20 片,苗绳间距 50 cm。夹苗绳底部挂重约 0.2~0.3 kg 的石块,以避免其因风浪相互缠绕。

1.3 采样及数据测量

幼虫阶段,每 5 天随机取样 30 个 D 形幼虫进行测量。幼虫的壳高、壳长在 Olympus 显微镜下用目微尺 (精度 0.05 μm) 测量记录。养成阶段分别在第 120、150、180、200、240、270、290、330、360、380、410 和 450 天时随机取样 30 个,用电子游标卡尺 (精度 0.01 mm) 测量壳高、壳长、壳宽,用电子天平测量个体总重;并现场测量记录养殖海域海水温度盐度。(温度使用水温计测量,盐度使用光学盐度计测量)。

1.4 数据处理及生长模型构建

利用 SPSS22.0 软件进行数据处理及模型构建。使用 Levenberg-Marquardt 迭代法^[13-14]估计生长参数,迭代精度设为 10⁻⁸,即当各待估生长参数前后两次迭代结果的相对误差与误差平方和的相对误差都小于 10⁻⁸时,迭代运算结束,以收敛的结果作为参数的最终估计值。幼虫期壳高和壳长的变化采用线性回归,并分析壳高 (SH) 与壳长 (SL) 的关系。养成期选择 Von Bertalanffy、Gompertz 和 Logistic 3 种常见的动物模型 (各模型见表 1) 拟合壳黑长牡蛎 F7 的总重变化过程,并采用曲线拟合方法分析总重与壳高、壳长和壳宽的关系。

表 1 3 种常见动物生长曲线模型

Table 1 Three kinds of common growth curve models

名称 Name	模型 Model	拐点总重 (y) Total weight of inflexion	拐点日龄 (t) Day of inflexion
Von Bertalanffy	$y=A(1-Be^{-kt})^3$	8A/27	(ln3B)/k
Gompertz	$y=Ae^{-Bexp(-kt)}$	A/e	(lnB)/k
Logistic	$y=A/(1+Be^{-kt})$	A/2	(lnB)/k

注:A:总重的总生长量或生长极限;B:增长初始值参数;k:总重的瞬时增长速率。

Note:A: the biggest theoretical growth limit of total weight; B: the initial growth parameter; k: instantaneous growth rate of total weight.

2 结果和分析

2.1 幼虫期壳高与壳长的线性回归与相关

根据幼虫期各生长性状在不同日龄的平均值 (见表 2), 分别作出壳高与日龄、壳长与日龄的散点图, 观察发现壳高、壳长与日龄大致呈线性分布 (见图 1)。因此直接对壳高、壳长与日龄进行线性回归, 得到壳高对日龄的回归方程为 $y=39.7238+11.6972x$, $R^2=0.991$; 壳长对日龄的回归方程为 $y=31.3462+9.8028x$, $R^2=0.986$ 。式中: y 为壳高或壳长 (μm); x 为日龄 (d); R^2 为复相关系数。

分析幼虫期长牡蛎壳黑 F7 的壳高与壳长相关性。由壳高与壳长的散点图 (见图 2) 可知, 壳黑群体幼虫期壳高与壳长大致成线性相关, 经线性回归, 求得回归方程为: $y=4.8670+1.1750x$, $R^2=0.989$ 。式中, y 为壳高 (μm), x 为壳长 (μm), R^2 为拟合优度。回归直线与散点图相结合 (见图 2), 发现实测值大致位于回归直线上, 说明回归效果较好。

2.2 环境因子的变化

养成阶段, 各取样时间养殖海域的水温呈明显季节变化 (见图 3), 于 200 日龄时水温降至最低 (3.8 °C), 后逐渐升高, 于 380 日龄时达到最高值 (24.0 °C)。不同取样时间养殖海域的盐度变化幅度不大, 介于 30.5~32.8 之间。

2.3 养成期总重生长模型的比较

绘制长牡蛎壳黑 F7 养成期各总重在不同日龄的变化曲线 (见图 4)。120~270 日龄间, 壳黑 F7 的总重增长较缓, 270 日龄后其总重增长速度明显增快。360 日龄时, 总重没有增加, 反而相比 330 日龄时稍有下降。360 日龄后, 总重增长十分迅速, 至 410 日龄时, 总重的增长速度开始减缓。分别使用 3 种常用的动物模型对养成期长牡蛎壳黑 F7 的总重与日龄的关系进行拟合。拟合后各模型参数、估计值、标准误、置信区间、拐点及拟合度如表 3 所示, 得到 Von

表 2 不同日龄壳黑 F7 的壳高、壳长、壳宽和总重

Table 2 Average of shell height, shell length, shell width and total weight of the seventh-generation black shell strain at different ages

日龄 Age/d	壳高 Shell height/mm	壳长 Shell length/mm	壳宽 Shell width/mm	总重 Total weight/g
幼虫期 Larval stage				
1	64.83±2.28	55.90±2.23	—	—
6	93.47±2.91	79.77±4.21	—	—
11	160.50±8.17	129.23±6.10	—	—
16	238.33±19.75	180.20±10.31	—	—
21	284.83±20.82	250.73±12.63	—	—
养成期 Grow-out stage				
120	41.85±6.54	24.14±4.18	12.58±2.86	6.97±2.59
150	45.44±7.54	26.15±4.47	12.69±2.63	8.23±3.09
180	50.61±6.35	27.75±4.00	14.36±2.55	9.91±2.84
200	51.03±5.61	28.19±6.90	14.75±3.34	10.60±3.49
240	52.12±4.39	28.95±4.64	16.10±3.28	12.37±3.29
270	53.82±7.13	29.32±6.03	16.12±5.77	12.75±3.93
290	58.84±6.50	34.81±8.53	16.23±2.92	16.57±4.93
330	62.23±9.16	37.58±6.60	19.30±4.11	20.18±5.50
360	63.04±8.19	37.79±5.88	19.60±4.80	19.83±5.75
380	64.56±8.65	42.53±6.60	23.31±9.93	26.20±7.40
410	75.72±15.39	47.57±6.66	23.43±3.94	41.95±9.80
450	78.04±7.22	47.87±5.66	23.80±3.11	45.90±8.17

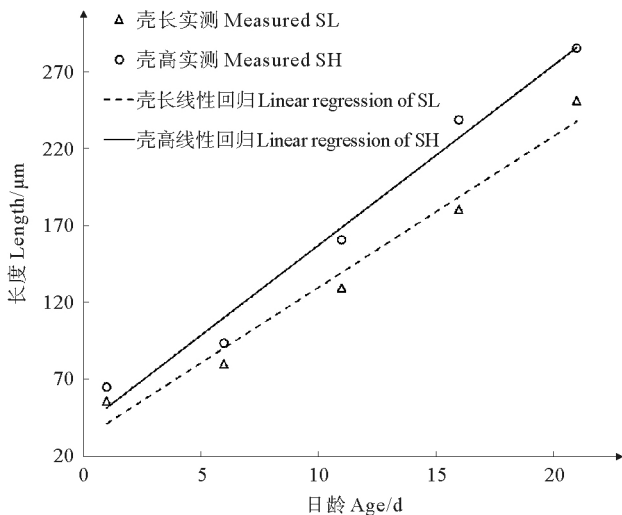


图 1 幼虫期壳高、壳长与日龄的线性回归

Fig.1 The linear regression between shell height and age, as well as shell length and age at larval stage

观察, 3 种模型预测曲线呈曲线增长, 仅在 360~410 日龄时期与实测值略有差距, 其余时期与壳黑 F7 总重的实际变化情况相差不大。其中 Von Bertalanffy 模型的 R^2 最高, 为 0.955, 说明其与长牡蛎壳黑 F7 总重的变化情况最好。

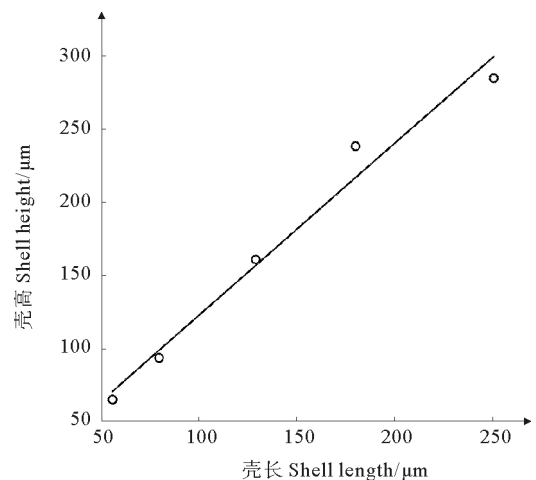


图 2 幼虫期壳高与壳长的线性相关

Fig.2 The linear correlation between shell height and shell length at larval stage

Bertalanffy、Gompertz 和 Logistic 3 种模型的回归方程分别为: $y = 3.1348(1 + 0.1864e^{0.0046x})^3$ 、 $y = 2.2376 \times 10^6 e^{-13.9323e^{-0.0006x}}$ 和 $y = 8.1449 \times 10^8 / (1 + 3.3400 \times 10^8 e^{-0.0065x})$, 其 R^2 分别为 0.955、0.940 和 0.945。作出各方程在不同日龄的预测曲线图 (见图 4), 由图中

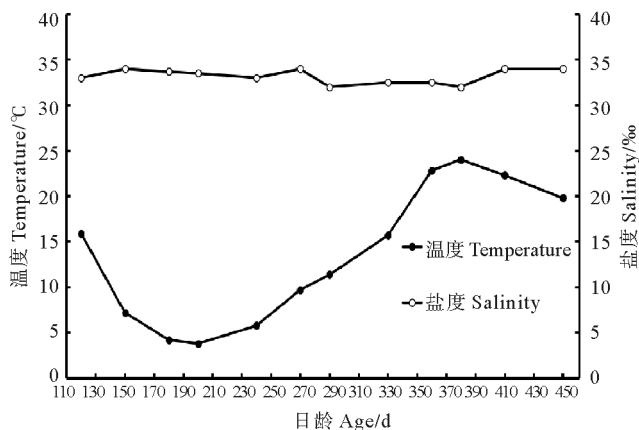


图3 不同日龄养殖海域海水水温和盐度变化
Fig.3 Variation of water temperature and salinity in the survey sea at different ages

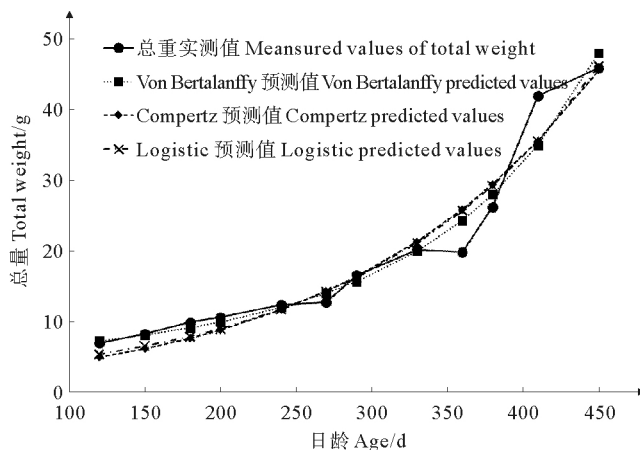


图4 壳长生长曲线与3种拟合曲线的比较
Fig.4 Comparison of growth curves of total weight among three fitting curve models

表3 3种生长模型的生长参数估计值与拟合度

Table 3 Parameter evaluation and fitting degree of three growth models

生长模型 Growth model	参数 Parameter	估计值 Estimate	标准误 Standard error	95 置信区间 Confidence interval		拐点 y 值 Inflexion	拟合度 R^2 Fitting
				下限 Lower bound	上限 Upper bound		
				Von Bertalanffy	A		
	B	-0.186 4	0.255 5	-0.764 4	0.391 5	0.928 8	
	k	-0.004 6	0.001 8	-0.008 7	0.000 5		
Gompertz	A	$2.237 6 \times 10^6$	$8.932 9 \times 10^9$	$-1.998 4 \times 10^8$	$2.043 1 \times 10^8$		0.940
	B	13.932 3	41.380 6	-79.677 3	107.541 8	$8.231 8 \times 10^5$	
	k	0.000 6	0.002 1	-0.004 2	0.005 3		
Logistic	A	$8.144 9 \times 10^8$	$4.430 4 \times 10^{15}$	$-1.002 2 \times 10^{16}$	$1.002 2 \times 10^{16}$		0.945
	B	$3.340 0 \times 10^8$	$1.816 8 \times 10^{15}$	$-4.109 9 \times 10^{15}$	$4.109 9 \times 10^{15}$	$4.072 4 \times 10^8$	
	k	0.006 5	0.001 9	0.002 3	0.010 7		

2.4 养成期壳高、壳长、壳宽分别与总重的曲线拟合

分别作出壳高与总重、壳长与总重、壳宽与总重的散点图,发现壳高与总重,壳长与总重的散点图分布规律,大致呈曲线相关,而壳宽与总重的散点图分布离散,相关性较差(见图5)。分别采用线性方程等9种方程对养成期壳高、壳长、壳宽与总重的关系进行曲线拟合(见表4)。各方程的 R^2 从 0.80 到 0.99 不等, R^2 越大说明曲线拟合效果越好。从拟合效果图上看(见图4),复合曲线、幂函数曲线、增长函数曲线与指数方程曲线与实测值的分布趋势大致相同,再结合 R^2 及方程简洁程度,复合曲线在各组曲线拟合中均有不错的拟合效果。所以分别采用复合曲线方程 $y = 1.706 \times 1.055^x$ 、 $y = 1.336 \times 1.075^x$ 和 $y = 1.287 \times 1.154^x$ 来反映壳高与总重、壳长与总重、壳宽与总重的关系。

3 讨论

本研究中,长牡蛎壳黑 F7 壳高和壳长的增长规律符合线性回归方程 ($R^2 > 0.98$)。说明在幼虫期壳高与壳长的生长速率维持在相对稳定的水平,这与孔宁等^[10]关于长牡蛎 F3 选育群体幼虫期生长规律的研究类似,在幼虫附着变态前,幼虫一直处于一个较高的生长速率。此外,壳高和壳长两直线方程斜率不同,壳高回归方程斜率大于壳长回归方程斜率,说明壳高增长速度快于壳长。长牡蛎幼虫期的壳高与壳长呈线性相关, $R^2 = 0.989$ 说明拟合度较好,这表明可以通过一个性状有效预测另一个性状的生长规律。

本研究选用的 Von Bertalanffy、Gompertz 和 Logistic 模型,都是常用于描述水产动物生长规律的模型^[5,9-10,15]。符世伟等^[5]对马氏珠母贝壳长生长模型的

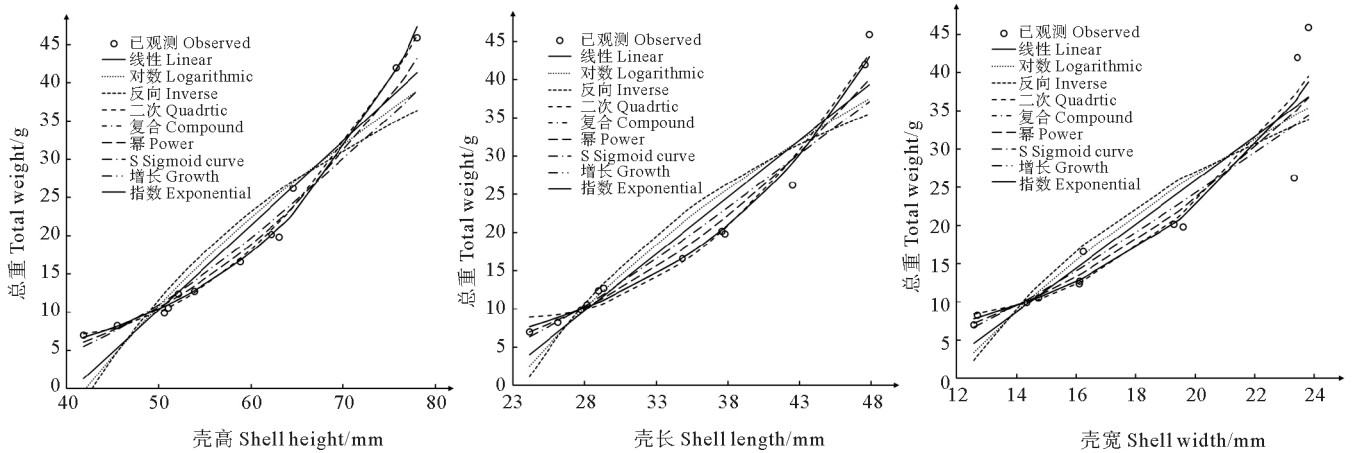


图 5 壳高、壳长、壳宽分别与总重的曲线拟合效果

Fig.5 Fitting effect between shell height and total weight, shell length and total weight as well as shell width and total weight

表 4 壳高、壳长、壳宽分别与总重的关系

Table 4 Relationship between shell height and total weight, shell length and total weight as well as shell width and total weight

模型 Model	壳高与总重 Shell height and weight		壳长与总重 Shell length and weight		壳宽与总重 Shell width and weight	
	方程 Equation	R ²	方程 Equation	R ²	方程 Equation	R ²
线性 Linear	$y = 44.892 + 1.105x$	0.930	$y = 31.833 + 1.487x$	0.923	$y = 31.493 + 2.871x$	0.850
对数 Logarithmic	$y = 235.601 + 63.004 \ln(x)$	0.875	$y = 159.773 + 50.986 \ln(x)$	0.878	$y = 123.626 + 50.171 \ln(x)$	0.812
反向 Inverse	$y = 80.453 + 3438.419/x$	0.806	$y = 70.497 + 1674.244/x$	0.822	$y = 69.013 + 838.134/x$	0.761
二次多项式 Quadratic	$y = 46.610 + 2.026x + 0.026x^2$	0.993	$y = 42.578 + 2.830x + 0.059x^2$	0.982	$y = 35.595 + 4.772x + 0.207x^2$	0.891
复合曲线 Compound	$y = 0.706 \times 1.055^x$	0.991	$y = 1.336 \times 1.075^x$	0.983	$y = 1.287 \times 1.154^x$	0.944
幂函数 Power	$y = 0.0000468x^{3.152}$	0.981	$y = 0.0021163x^{2.546}$	0.980	$y = 0.0112305x^{2.553}$	0.941
S 形曲线 Sigmoid curve	$y = e^{5.923 + 176.557/x}$	0.952	$y = e^{5.402 + 85.627/x}$	0.963	$y = e^{5.369 + 43.597/x}$	0.922
增长曲线 Growth	$y = e^{0.349 + 0.054x}$	0.991	$y = e^{0.290 + 0.072x}$	0.983	$y = e^{0.253 + 0.143x}$	0.944
指数方程 Exponential	$y = 0.706e^{0.054x}$	0.991	$y = 1.336e^{0.072x}$	0.983	$y = 1.287e^{0.143x}$	0.944

注:表中 y 为总重, x 为对应的壳高、壳长或壳宽。

Notes: y present total weight, x present the shell height, shell length and shell.

研究中,选用了 Brody、Von Bertalanffy、Gompertz、Logistic 和 Richards 5 种模型,采用 Levenberg-Marquardt 迭代法求出模型中的生长参数,确定马氏珠母贝壳长的生长过程遵循 Brody 生长模型。吴杨平等^[15]在文蛤红壳色选育系 F3 的生长规律及模型研究中,确定文蛤红壳色选育系 F3 的壳长生长遵循 Logistic 生长模型。而本研究中,3 种模型与长牡蛎壳黑 F7 养成期的生长规律都不能完全符合。比较 R², Von Bertalanffy 模型的拟合程度最好,但也仅限于对养成期长牡蛎壳黑 F7 体重的生长规律提供参考。其模型的拐点参数,并不符合实际的生长发育规律。此外,模型预测值与实际测量值在 350~450 日龄相差很大,这可能与长牡蛎生长的季节性变化有关。近 350 日龄,正值长牡蛎壳黑 F7 繁殖季节,其总重略有下降可能与精卵排放有关。360~410 日龄期间,长牡蛎壳黑 F7 总重迅速升高,可能与其产期过后恢复发育有关。这与孔宁

等^[10]对长牡蛎 F3 选育群体的生长规律研究类似。此外,长牡蛎的波动性生长与生长环境(水温、饵料丰富度等)的周期性变化有着密切联系,夏季水温升高,光照充足,海水中饵料充足,有利于长牡蛎的快速增长。本实验中,360~410 日龄期间正处夏季,有利的环境促使长牡蛎总重出现快速生长现象。冬季,海水温度降低,长牡蛎新陈代谢减缓,通常会导致长牡蛎生长减慢或停滞。与孔宁等^[10]对长牡蛎 F3 选育群体的研究不同,本研究中长牡蛎壳黑 F7 总重在冬季并未发现明显的生长停滞,其仍能保持缓慢增长。造成这种差别一方面可能是由养成环境的差异造成。另一方面可能是对多代的群体选育对长牡蛎的环境适应能力发生了改变。通过壳高、壳长、壳宽与总重的曲线拟合,结果发现,壳黑 F7 的壳高、壳长和壳宽与总重的拟合效果较好, R² 均大于 0.99,如此高的拟合优度表明可以通过一个性状准确预测另一个性状的生长规律。

研究普遍认为,利用生长模型预测养殖对象的生长状况,通过生长曲线的变化趋势了解养殖对象在不同发育阶段的生长潜力,实现日常养殖管理的合理安排,达到理想的养殖效果,最终能提高生产水平和经济效益^[16]。但是不同的水产动物有不同的生活史及生长规律,进行生长拟合的时候机械套用模型,往往得不到与实际情况符合的拟合方程。因此,应考虑在生物生长的不同阶段用不同的生长模型来拟合,这样才能更好地建立符合实际情况的生长模型。本实验中,采用了不同的生长模型对长牡蛎壳黑 F7 的生长情况进行模拟,取得了比较好的拟合效果,为合理制定育种计划及生态研究提供了参考。此外,长牡蛎易受环境因素影响,在今后的研究中也尽量通过积累不同环境下的生物学数据,以提高生长模型的普适性来更高地指导实际生产。

参考文献:

- [1] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴(2015)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 23-29.
Ministry of Agriculture. Fisheries Bureau. China Fishery Statistical Yearbook 2015[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 23-29.
- [2] 王清印. 海水养殖生物的细胞工程育种[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
Wang Qingyin. Cell Engineering Breeding of Aquaculture Organisms[M]. Beijing: China Ocean Press, 2007.
- [3] 王许波, 李琪, 孔令锋, 等. 长牡蛎壳黑和壳白选育群体生长性状的选择效应[J]. 中国水产科学, 2016, 23(5): 1099-1107.
Wang Xubo, Li Qi, Kong Lingfeng, et al. Evaluation of mass selective breeding lines of black-shell and white-shell Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) for fast growth[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(5): 1099-1107.
- [4] 刘颖, 薛敏, 任泽林, 等. 鱼类的生长模型及其在营养需求研究中的应用[J]. 饲料工业, 2008, 29(10): 20-23.
Liu Ying, Xue Min, Ren Zelin, et al. The growth model of fish and its application in nutritional requirement[J]. Feed Industry, 2008, 29(10): 20-23.
- [5] 符世伟, 刘志刚, 王辉, 等. 马氏珠母贝壳长生长模型研究[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28(4): 30-35.
Fu Shiwei, Liu Zhigang, Wang Hui, et al. Study on the growth model of shell length for *Pinctada martensli* (Dunker)[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2008, 28(4): 30-35.
- [6] 王辉, 刘志刚, 符世伟. 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[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(5): 53-59.
Wang Hui, Liu Zhigang, Fu Shiwei. Studies on growth of weight traits of cultured *Argopecten irradians concentricus* in Zhanjiang sea area[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2007, 26(5): 53-59.
- [7] 刘志刚, 王辉, 符世伟. 湛江北部湾养殖墨西哥湾扇贝的形态增长规律[J]. 水产学报, 2007, 31(5): 675-681.
Liu Zhigang, Wang Hui, Fu Shiwei. Morphological growth of cultured *Argopecten irradians concentricus* Say in Beibu bay in Zhanjiang[J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(5): 675-681.
- [8] Hastie L C, Young M R, Boon P J. Growth characteristics of freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (L.)[J]. Freshwater Biology, 2000, 43(2): 243-256.
- [9] 金启增, 练健生, 郭澄联, 等. 华贵栉孔扇贝综合生长模型[M].// 华贵栉孔扇贝育苗与养殖生物学. 北京: 科学出版社, 1996: 99-105.
JinQinzeng, Lian Jiansheng, Guo Chenglian et al. Comprehensive growth model of *Chlamys nobilis*[M].// Seeding and Breeding Biology of *Chlamys nobilis*. Beijing: Science Press, 1996: 99-105.
- [10] 孔宁, 李琪, 丛日浩, 等. 长牡蛎 F3 代快速生长选育群体生长特性的研究[J]. 海洋科学, 2015, 39(3): 7-11.
Kong Ning, Li Qi, Cong Rihao, et al. Study on growth characteristics of the selected third generation of Pacific oyster *Crassostrea gigas* with rapid growth[J]. Marine Sciences, 2015, 39(3): 7-11.
- [11] 许岚, 李琪, 孔令锋, 等. 温度和盐度对壳黑长牡蛎幼虫生长和存活的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(8): 44-50.
Xu Lan, Li Qi, Kong Lingfeng, et al. Effects of temperature and salinity on growth and survival of larvae of black-shell Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Ocean University of China, 2017, 47(8): 44-50.
- [12] Ge J, Li Q, Yu H, et al. Mendelian inheritance of golden shell color in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* [J]. Aquaculture, 2015, 441: 21-24.
- [13] Hair J F, Anderson R E, Tatham R L, et al. Multivariate data analysis[M].//Upper Saddle River. New Jersey: Prentice Hall, 1998: 232-238.
- [14] 王莽莽, 李典谟. 用麦夸方法最优拟合 Logistic 曲线[J]. 生态学报, 1986, 6(2): 142-147.
Wang Mangmang, Li Dianmo. Fitting logistic curve by marquardt's algorithm[J]. Acta Ecologica Sinica, 1986, 6(2): 142-147.
- [15] 吴杨平, 陈爱华, 张雨, 等. 文蛤红壳色选育系 F₃ 的生长规律及模型[J]. 海洋渔业, 2017, 39(4): 411-418.
Wu Yangping, Chen Aihua, Zhang yu, et al. On the growth law and model of the selected line (F₃) of red shell colored *Meretrix meretrix* [J]. Marine Fisheries, 2017, 39(4): 411-418.
- [16] 邬思荣, 刘志刚, 王辉. 湛江北部湾马氏珠母贝红壳色选育系生长模型研究[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31(3): 16-24.
Wu Sirong, Liu Zhigang, Wang Hui. Study on growth model of the selected lines of red shell colored *Pinctada martensii* dunker in beibu bay in zhanjiang[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2011, 31(3): 16-24.

A Study on the Growth Performance and Model of the Selected Strain (F7) of Black Shell Color *Crassostrea gigas*

XU Cheng-Xun, LI Qi

(The Key Laboratory of Mariculture (Ocean University of China), Ministry of Education, Qingdao 266003, China)

Abstract: Linear regression and three non-linear growth models, Von Bertalanffy, Gompertz and Logistic, were adopted to study the regularity of the selective strain (F7) of black shell color *Crassostrea gigas* at its larval and grow-out stages, respectively. At larval stage, the linear equation for shell height and shell length at different ages was $y = 39.7238 + 11.6972x$, $R^2 = 0.991$ and $y = 31.3462 + 9.8028x$, $R^2 = 0.986$, respectively. The shell height was linearly related to shell length, and the linear equation was $y = 4.8670 + 1.1750x$, $R^2 = 0.989$. At grow-out stage, the growth of total weight conformed to the Von Bertalanffy model. The relationship between total weight and shell height, shell length and shell width conformed to compound curve $y = 0.706 \times 1.055^x$, $R^2 = 0.991$, $y = 1.336 \times 1.075^x$, $R^2 = 0.983$ and $y = 1.287 \times 1.154^x$, $R^2 = 0.944$, respectively.

Key words: *Crassostrea gigas*; black shell color; growth model; growth parameter

责任编辑 朱宝象