

大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)大规模家系选育 优良家系的生长发育规律*

王新安¹ 马爱军¹ 黄智慧¹ 刘庆明¹ 郭黎¹
杨志² 曲江波²

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室 青岛 266071; 2. 烟台市开发区天源水产有限公司 烟台 264003)

提要 运用 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 3 种生长模型分别对大菱鲂的 5 个优良家系 $E\delta 1 \times E\eta 2$ 、 $F\delta 4 \times N\eta 3$ 、 $F\delta 2 \times E\eta 4$ 、 $E\delta 2 \times F\eta 1$ 、 $F\delta 1 \times F\eta 4$ 及对照组群体的生长曲线进行了拟合和比较分析。结果表明, 家系 $E\delta 1 \times E\eta 2$ 、 $F\delta 2 \times E\eta 4$ 和 $E\delta 2 \times F\eta 1$ 的最优拟合模型为 Gompertz 模型, 家系 $F\delta 4 \times N\eta 3$ 和 $F\delta 1 \times F\eta 4$ 的最优拟合模型为 von Bertalanffy 模型, 而对照组则更适应于 Logistic 模型拟合其生长曲线。不同月龄家系的瞬时增长率均高于对照组, 大多数相对增长率高于对照组, 拐点月龄均较对照组拖后, 拐点体重均高于对照组, 快速生长区间的始速点均比对照组提前, 快速生长区间长度均大于对照组。瞬时生长加速率在不同月龄则存在较大变化。

关键词 大菱鲂, 家系, 生长, 模型

中图分类号 Q953

自 1992 年大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)引入我国以来, 在海水鱼类工厂化养殖领域取得了重大成效(马爱军等, 2009, 2010)。近年来, 引进大菱鲂在我国种质退化现象较为严重(马爱军等, 2008; 王新安等, 2008; 申雪艳等, 2004)。调研结果表明, 在 2000—2001 年大菱鲂苗种经 10 个月的养成有 30% 可达到上市规格, 现在 10 个月可达到上市规格的不到 10%, 整批苗种达到上市规格要在 18 个月以上, 甚至 2 年。为保证大菱鲂养殖业健康、稳定、可持续的发展, 中国水产科学研究院黄海水产研究所利用大规模家系选育技术对其进行了遗传改良。根据对 F_1 家系不同发育阶段生长性能育种值和表型值的综合评定, 筛选出 5 个生长性能良好且稳定的核心家系, 即 $E\delta 1 \times E\eta 2$ 、 $F\delta 4 \times N\eta 3$ 、 $F\delta 2 \times E\eta 4$ 、 $E\delta 2 \times F\eta 1$ 和 $F\delta 1 \times F\eta 4$ 。拟合和分析这 5 个核心家系的体重生长曲线, 全面了

解其生长发育规律, 准确了解大菱鲂不同家系生长模式的差异, 对于在大菱鲂进一步的选择育种过程中, 制定合理的饲养和配种方案, 以获得最大的经济效益和遗传进展提供参考依据。

生长曲线也称 S 型曲线, 是描述单一一种群受空间约束的生长过程曲线(杨运清, 2001), 在生命科学领域已得到广泛应用(陶国玉, 2002)。它反映了生物或各个体组成部分成熟的遗传因素与这种遗传因素进行表达时所处环境的相互关系。近年来, 多种非线性数学模型被建立并被应用于生物生长发育规律的研究(Darmani *et al.*, 2003; Khamis *et al.*, 2005; Roush *et al.*, 2005)。目前, 常用的生长曲线模型有 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 模型等非线性生长曲线模型(师守堃, 1992)。研究表明, 这些模型不仅对生物生长曲线的拟合效果较好, 而且模型中的参数估计

* 现代农业产业技术体系建设专项资金资助, CARS-50 号; 国家支撑计划专题, 2006BAD01A12012 号; 农业公益性行业科研专项经费项目, nyhyzx07-046 号; 中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费项目, 2009-ts-11 号。王新安, 助理研究员, E-mail: wangxa@ysfri.ac.cn

通讯作者: 马爱军, 博士, 研究员, 博士生导师, E-mail: maaj@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2010-09-13, 收修改稿日期: 2010-11-21

值能够反应不同研究对象在增长率、最大理论体重方面的差异,对认识生物的遗传规律和特点,比较不同研究对象的生长差异,具有重要的参考意义,因此被广泛应用于动物生长发育规律的研究(杨海明等, 2004)。在我国,这3种模型主要应用于畜牧生长规律的研究,在水产渔业领域也有部分报道(区又君等, 2007; 张健东, 2002; 陈毅峰等, 2002; 张其永等, 1981)。

本研究采用 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 三种模型,对大菱鲂选育 F_1 代优良家系的生长发育规律进行研究,并与通过混交设置的对照组群体体重的生长规律进行了比较。

1 材料与方法

1.1 材料来源

本试验研究的5个大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)全同胞家系 $E\delta_1 \times E\eta_2$ 、 $F\delta_4 \times N\eta_3$ 、 $F\delta_2 \times E\eta_4$ 、 $E\delta_2 \times F\eta_1$ 和 $F\delta_1 \times F\eta_4$ 来源于大菱鲂选育 F_1 家系。这5个家系是根据不同发育阶段生长性能育种值和表型值的综合评定而筛选出来的生长性能良好且稳定的核心家系。对照组是在上述家系构建时通过混交设置而成。本批次家系和对照组的构建从2007年4月12日—7月19日完成。

1.2 家系培育

在大菱鲂早期培育阶段,为了获得尽可能相同的养殖条件,采取了一些有效的措施从数量和环境两个方面进行标准化培育。在孵化后的15、30和45天,每个全同胞家系及对照组分别随机取样10000、5000和2000尾鱼分池培育。在2月龄,每个家系及对照组随机取样1000尾鱼放置到分离的12m³水泥池内培育,直到12月龄。从12—18月龄,每个家系及对照组被分别转到20m³水泥池内养殖。环境条件随

着不同的生长阶段进行调整,在仔、稚鱼培育期间,水温、盐度、光照、pH和溶解氧分别为13—18、30—40、500—2000 lx、7.8—8.2和>6mg/L。在成鱼生长阶段,上述5项指标分别为15—18、25—30、500—1500 lx、7.6—8.2和>6mg/L。各生长发育阶段饲料投喂量相同。

在3—27月龄期间,每隔3个月对家系和对照组进行1次体重统计。统计时,每个家系测量3次,每次随机取样40—60尾鱼用电子天平测量体重,并记录整理,计算3次测量的平均体重。

1.3 分析方法

根据大菱鲂各家系及对照组不同月龄、体重资料,采用 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 三种模型,利用 SAS(8.2 版)软件 NLIN 程序过程中的 DUD 法(试位法),进行循环迭代,拟合计算出各模型参数的最优估计值 A 、 B 、 k ,建立生长曲线模型,收敛标准为 10^{-8} 。并根据各模型推算出理论拐点体重、拐点月龄和最大月增重。根据拟合度(R^2)大小评价生长曲线模型。用于拟合的3种非线性生长曲线模型的表达式及其推导的相关参数见表1。

2 结果与分析

2.1 5个优良家系及对照组不同月龄观测体重的变化

由表2可以看出,5个家系及对照组在各月龄的体重差异均达到显著水平($P < 0.05$)。在每一试验月龄,除家系 $E\delta_2 \times F\eta_1$ 在6月龄和18月龄的体重低于对照组外,其余各优良家系的体重均大于对照组体重。除家系 $E\delta_2 \times F\eta_1$ 在12、15和18月龄以及家系 $F\delta_1 \times F\eta_4$ 在18月龄外,其余各家系体重与对照组间的差异均达到显著水平($P < 0.05$)。5个优良家系间比较,在各月龄的体重差异也均达到显著水平($P < 0.05$)。其中,

表1 用于拟合的3种非线性生长曲线模型及参数
Tab.1 Three types of nonlinear growth curve models and associated parameters

模型类型	Logistic	Gompertz	von Bertalanffy
模型表达式	$W_t = A / (1 + B e^{-kt})^{-1}$	$W_t = A e^{-B \exp(-kt)}$	$W_t = A (1 - B e^{-kt})^3$
拐点体重	$A / 2$	A / e	$8A / 27$
拐点月龄	$(\ln B) / k$	$(\ln B) / k$	$(\ln 3B) / k$
最大月增重	$kA / 4$	kA / e	$4kA / 9$
瞬时增长率	$kW_t (1 - W_t / A)$	$kW_t (\ln A - \ln W_t)$	$3kW_t [(A / W_t)^{1/3} - 1]$
瞬时生长加速度	$k^2 W_t (1 - W_t / A)(1 - 2W_t / A)$	$Bk^2 W_t e^{-kt} (B e^{-kt} - 1)$	$3ABk^2 e^{-kt} (W_t / A)^{1/3} (3B e^{-kt} - 1)$
相对增长率	$k (1 - W_t / A)$	$k (\ln A - \ln W_t)$	$3k [(A / W_t)^{1/3} - 1]$

注: t 为月龄; W_t 为 t 月龄时的体重; A 为渐近体重参数,即成熟个体体重的平均值(Bathaei *et al*, 1996); B 为常数; k 为生长速率或成熟速率(Bathaei *et al*, 1996; de Behr *et al*, 2001)

表 2 各家系及对照组不同月龄的平均体重(g)
Tab.2 Mean body weights of the five families and the control group at different months (g)

家系	月龄								
	3	6	9	12	15	18	21	24	27
E♂1×E♀2	2.09 ^a	47.21 ^a	162.02 ^a	311.07 ^a	619.85 ^a	1001.07 ^a	1203.59 ^a	1784.54 ^a	1865.48 ^a
F♂4×N♀3	3.67 ^c	49.49 ^a	144.9 ^{bc}	348.12 ^d	584.87 ^a	926.22 ^b	1176.76 ^a	1506.56 ^b	1782.13 ^a
F♂2×E♀4	2.22 ^a	40.93 ^b	137.88 ^c	288.49 ^b	510.51 ^b	860.38 ^c	1100.82 ^b	1393.26 ^c	1607.90 ^b
E♂2×F♀1	2.15 ^{ab}	32.69 ^c	126.42 ^d	259.1 ^{ce}	453.07 ^c	762.22 ^d	1035.22 ^c	1308.22 ^d	1541.23 ^c
F♂1×F♀4	2.55 ^b	42.40 ^b	155.35 ^{ab}	275.00 ^{bc}	512.92 ^b	822.28 ^{cd}	1052.17 ^{bc}	1282.06 ^d	1522.84 ^c
对照组	1.59 ^d	37.09 ^d	111.64 ^c	239.81 ^c	418.26 ^c	776.34 ^d	897.00 ^d	1057.13 ^e	1175.84 ^d

注: 实验数值上标表示多重比较结果, 同列字母相同表示差异不显著($P>0.05$), 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)

家系 E♂1×E♀2 除在 3、6 月龄的体重排序分别是第 5、第 2 外, 在 9—27 月龄内, 体重一直保持最大状态; 家系 F♂4×N♀3 除在 3、6 和 9 月龄的体重排序分别是第 1、第 1 和第 3 外, 在 12—27 月龄内, 体重保持第 2 排序; 家系 F♂2×E♀4 在 6、9 和 15 月龄体重排序第 4, 在其余各试验月龄排序均为第 3; 家系 E♂2×F♀1 在 3、24 和 27 月龄体重排序第 4, 在其余各试验月龄排序均为第 5; 家系 F♂1×F♀4 在 3 月龄和 9 月龄、2 月龄和 15 月龄、12 月龄和 18 月龄及 21 月龄、24 月龄和 27 月龄, 体重排序分别为 2、3、4、5。显然, 5 个家系都具有较为稳定的生长性能。

特别是家系 E♂1×E♀2 和 F♂4×N♀3, 除在 3 月龄和 9 月龄外, 这 2 个家系的体重与其它家体系重的差异均达到显著水平($P<0.05$), 显示出更为优良的生长性能。

2.2 生长模型的拟合结果

5 个家系及对照组的 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 三种模型的表达式、拟合度(R^2)、拐点体重、拐点月龄、最大月增重的结果见表 3。由表 3 可知, 对于 5 个家系及对照组 3 种模型的拟合度, 除家系 E♂1×E♀2 的 von Bertalanffy 模型的拟合度是 0.9898 外, 其余拟合度均在 0.99 以上, 这说明 3 种模型的拟合效果均较好, 能够很好地拟合 5 个家系及对

表 3 三种拟合曲线模型参数估计值和拟合度
Tab.3 The parameter values and the goodness of fit of the three types of nonlinear curve models

家系	模型	表达式	拟合度(R^2)	拐点体重(g)	拐点月龄(月龄)	最大月增重(g)
E♂1×E♀2	Logistic	$W_t=2156.69(1+112.61e^{-0.25t})^{-1}$	0.9906	1078.35	18.90	269.59
	Gompertz	$W_t=2788.11e^{-8.60\exp(-0.12t)}$	0.9908	1022.67	18.55	118.58
	von Bertalanffy	$W_t=3584.70(1-1.28e^{-0.07t})^3$	0.9898	1062.13	18.94	113.12
F♂4×N♀3	Logistic	$W_t=2047.63(1+82.36e^{-0.23t})^{-1}$	0.9960	1023.82	19.26	117.23
	Gompertz	$W_t=2768.16e^{-7.30\exp(-0.10t)}$	0.9993	1018.35	19.11	105.91
	Von Bertalanffy	$W_t=3760.43(1-1.14e^{-0.06t})^3$	0.9994	1114.20	20.11	101.95
F♂2×E♀4	Logistic	$W_t=1788.84(1+104.85e^{-0.25t})^{-1}$	0.9977	894.42	18.69	111.36
	Gompertz	$W_t=2312.63e^{-8.34\exp(-0.12t)}$	0.9991	850.77	18.61	96.99
	von Bertalanffy	$W_t=2965.35(1-1.26e^{-0.07t})^3$	0.9985	878.62	18.44	94.89
E♂2×F♀1	Logistic	$W_t=1760.99(1+111.85e^{-0.24t})^{-1}$	0.9990	880.49	19.41	106.98
	Gompertz	$W_t=2395.77e^{-8.19\exp(-0.11t)}$	1.0000	881.35	19.12	96.95
	von Bertalanffy	$W_t=3298.35(1-1.20e^{-0.06t})^3$	0.9990	977.29	20.39	92.35
F♂1×F♀4	Logistic	$W_t=1686.41(1+87.72e^{-0.24t})^{-1}$	0.9970	843.20	18.64	101.18
	Gompertz	$W_t=2198.80e^{-7.66\exp(-0.11t)}$	0.9989	808.89	18.51	88.98
	Von Bertalanffy	$W_t=2857.98(1-1.19e^{-0.07t})^3$	0.9999	846.81	18.66	86.37
对照组	Logistic	$W_t=1199.77(1+150.22e^{-0.30t})^{-1}$	0.9950	599.88	16.71	89.98
	Gompertz	$W_t=1376.09e^{-11.57\exp(-0.16t)}$	0.9947	506.23	15.41	80.44
	von Bertalanffy	$W_t=1569.53(1-1.65e^{-0.11t})^3$	0.9928	465.05	14.77	75.49

注: 表中黑体部分为各家系及对照组的最优模型及相关参数

对照组的生长曲线, 其不同生长发育期的体重呈现“S”型增长。进一步分析拟合度发现, 虽然拟合度基本上都大于0.99, 但是不同的生长模型对每个家系的拟合度仍存在差异。家系 $E\delta 1 \times E\delta 2$ 、 $F\delta 4 \times N\delta 3$ 、 $F\delta 2 \times E\delta 4$ 、 $E\delta 2 \times F\delta 1$ 、 $F\delta 1 \times F\delta 4$ 和对照组分别是 Gompertz、von Bertalanffy、Gompertz、Gompertz、von Bertalanffy 和 Logistic 模型的拟合度最大, 因此, 对于家系 $E\delta 1 \times E\delta 2$ 、 $F\delta 2 \times E\delta 4$ 和 $E\delta 2 \times F\delta 1$, 采用 Gompertz 模型能更好地拟合其生长曲线, 对于家系 $F\delta 4 \times N\delta 3$ 和 $F\delta 1 \times F\delta 4$, 采用 von Bertalanffy 模型能更好地拟合其生长曲线, 而 Logistic 模型则更适应于拟合对照组的生长曲线。

家系 $E\delta 1 \times E\delta 2$ 、 $F\delta 4 \times N\delta 3$ 、 $F\delta 2 \times E\delta 4$ 、 $E\delta 2 \times F\delta 1$ 、 $F\delta 1 \times F\delta 4$ 和对照组各自最适模型的拐点月龄分别为 18.55、20.11、18.61、19.12、18.66 和 16.71 月龄; 拐点体重分别为 1022.67、1114.20、850.77、881.35、846.81 和 599.88g; 最大月增重分别为 118.58、101.95、96.99、96.95、86.37 和 89.98g。可见, 5 个家系的拐点月龄和拐点体重均大于对照组的拐点月龄和拐点体重; 除家系 $F\delta 1 \times F\delta 4$ 的最大月增重小于对照组的月增重外, 其余各家系的最大月增重均大于对照组的月增重。

2.3 5 个优良家系及对照组的生长发育规律

利用各家系、对照组所筛选的最优模型回测 3—27 月龄的体重, 同时, 为了更全面了解大菱鲂的生长发育规律, 对 30、33、36 月龄的体重进行预测。计算得到瞬时生长率(图 1A)、瞬时生长加速率(图 1B)和相对生长率(图 1C)。由图 1 可以看出, 各家系及对照组的瞬时增长率呈倒钟形状, 瞬时生长加速率呈横 S 形, 相对生长率是一条下降曲线。进一步观察发现, 在不同月龄各家系的瞬时生长率均高于对照组, 大多数相对生长率高于对照组(图 1A、C), 而瞬时生长加速率在不同月龄则存在较大变化, 在 12、15、30、33 和 36 月龄, 瞬时生长加速率均最高(图 1B)。

图 1A 中瞬时生长率曲线的顶点即为各 S 形曲线的拐点, 在拐点前体重呈加速增长状态, 在拐点后体重成减速增长态势。即在拐点之前, 瞬时生长率逐渐增大, 直到拐点处的最大值, 拐点后瞬时生长率逐渐减小。因此, 可以以拐点为界, 把生长过程分为加速生长期和减速生长期。但以拐点为界划分的加速生长期和减速生长期, 其瞬时生长加速率都不是匀速的(图 1B), 瞬时生长加速率的横 S 形曲线表明, 瞬时生长率存在着 2 个变化极点, 即增加最快速点和下降最快

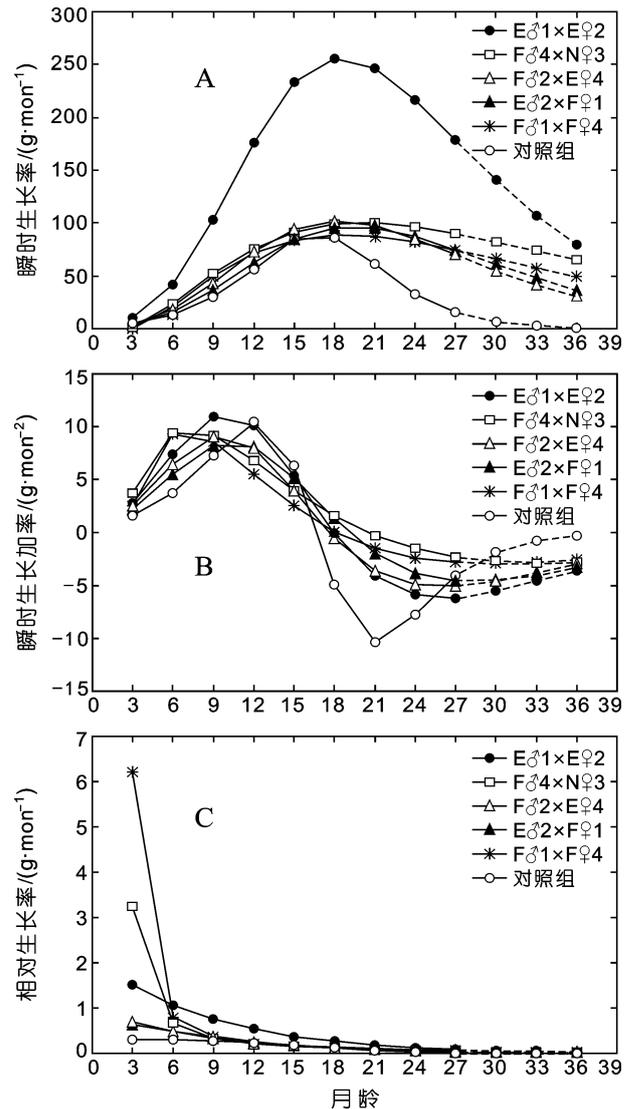


图 1 5 个家系及对照组的瞬时生长曲线(A)、瞬时生长加速率(B)、相对生长曲线(C)

Fig.1 Instantaneous growth rates (A), acceleration rates (B) and Relative growth rates (C) of the five families and the control group

注: 图中实线为实测值, 虚线为预测值

点, 事实上, 这 2 点正是瞬时生长率曲线的拐点, 据此可以把整个生长过程分为 3 个时期, 即缓慢生长期、快速生长期和渐近生长期(苏建平, 2001)。在缓慢生长期, 瞬时生长率较低且增加缓慢, 因此体重也缓慢增加。刚进入快速生长期的始速点时, 瞬时生长率继续增加, 但增加速度已在此刻开始下降, 到曲线拐点时, 瞬时生长率停止增加, 即瞬时生长加速率为 0, 并在拐点以后开始下降, 瞬时生长加速度表现为负值, 且下降速度越来越快, 直到快速生长期的终速点。显然, 快速生长期是由加速生长期和减速生长

期的各一部分组成,其特点是瞬时生长率高于缓慢生长期和渐近生长期,因此,体重也很快增加。在渐近生长期,瞬时生长率继续下降并缓慢地趋于 0,体重也缓慢地渐近值。通过对各 S 形曲线模型求导可得

到不同生长期的区间范围(表 4、图 2)。可以看到,各家系进入快速生长期的始速点均比对照组提前,快速生长区间也均比对照组持续时间长,各家系比对照组显示出良好的生长性能。

表 4 5 个优良家系及对照组体重的 3 个生长过程区间
Tab.4 Growth interval of body weight of the five families and the control group

家系	模型	生长过程区间[(时间, 月龄)/(体重, g)]		
		缓慢生长期	快速生长期	渐近生长期
E♂1 × E♀2	$W_t=2788.11e^{-8.60\exp(-0.12t)}$	0/0—10.23/203.38	10.23/203.38—26.78/1902.93	26.78/1902.93—
F♂4 × N♀3	$W_t=3760.43(1-1.14e^{-0.06t})^3$	0/0—7.10/67.31	7.10/67.31—33.25/2305.53	33.25/2305.53—
F♂2 × E♀4	$W_t=2312.63e^{-8.34\exp(-0.12t)}$	0/0—9.97/168.7	9.97/168.7—26.53/1578.41	26.53/1578.41—
E♂2 × F♀1	$W_t=2395.77e^{-8.19\exp(-0.11t)}$	0/0—10.52/174.76	10.52/174.76—28.28/1635.15	28.28/1635.15—
F♂1 × F♀4	$W_t=2857.98(1-1.19e^{-0.07t})^3$	0/0—6.96/50.97	6.96/50.97—30.36/1750.54	30.36/1750.54—
对照组	$W_t=1199.77(1+150.22e^{-0.30t})^{-1}$	0/0—12.32/253.39	12.32/253.39—21.10/945.96	21.10/945.96—

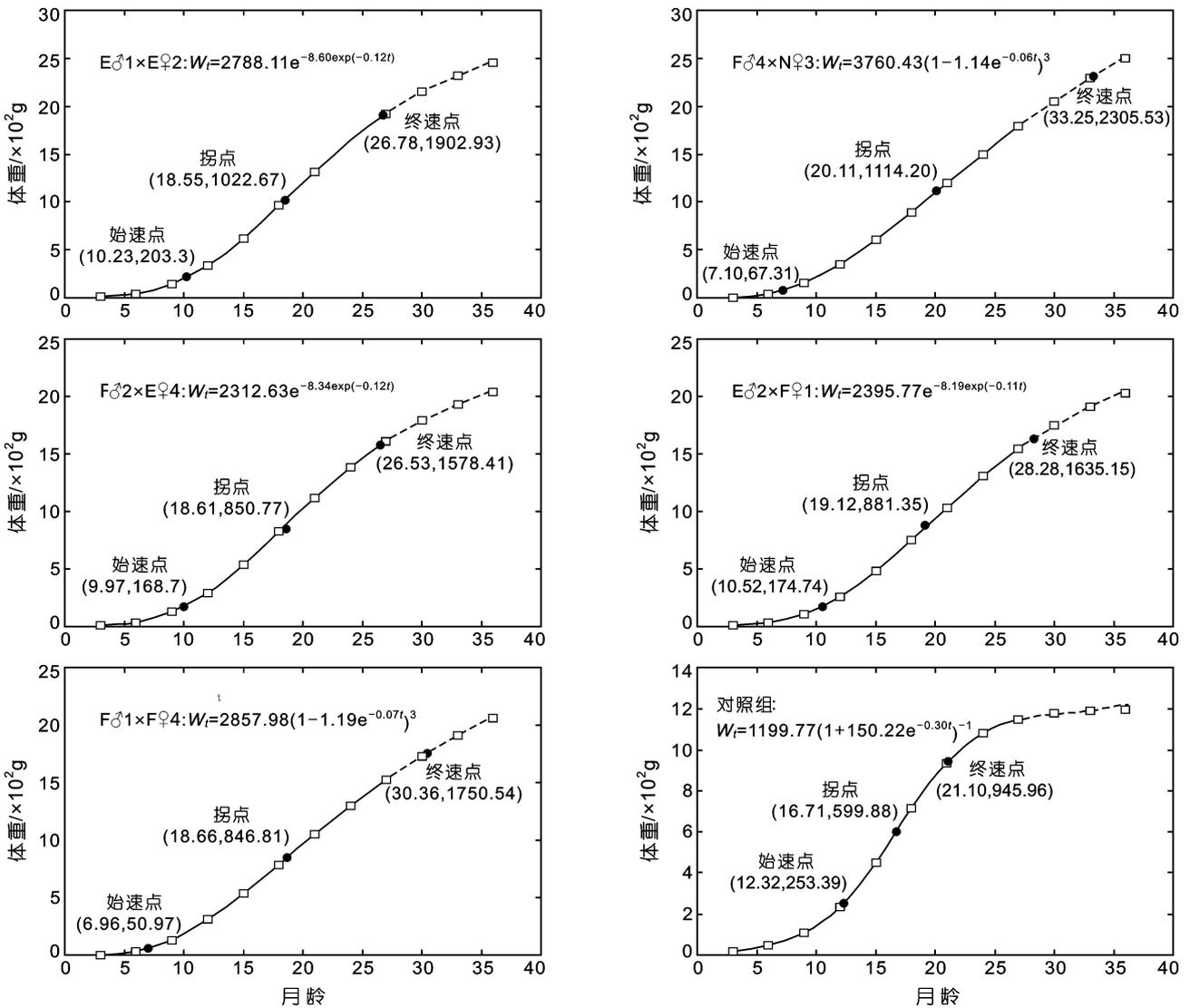


图 2 5 个家系及对照组的体重生长曲线

Fig.2 Growth curves of the five families and the control group

目前,在中国大菱鲂商品鱼规格通常为 500—1000g。选育的最直接目的是使新品种尽快达到上市规格,尽可能增加经济效益,大菱鲂 5 个优良家系及对照组商品鱼阶段的生长区间结果(表 5)表明,5 个家系进入商品鱼初始规格的时间均比对照组提前,同时商品鱼的生长区间也比对照组短。所选择的家系显示出良好的经济效益。

3 讨论

3.1 5 个优良家系及对照组不同月龄实测体重的变化分析

统计分析发现,5 个家系及对照组在各月龄的体重差异均达到显著水平($P < 0.05$),在每一试验月龄,5 个优良家系的体重均大于对照组体重。除家系 $E\delta 2 \times F\eta 1$ 在 12、15 和 18 月龄以及家系 $F\delta 1 \times F\eta 4$ 在 18 月龄外,其余各家系体重与对照组间的差异均达到显著水平($P < 0.05$)。被选家系显示出良好的生长性能。5 个优良家系间比较,在各月龄的体重差异也均达到显著水平($P < 0.05$)。这表明,家系间的生长发育也存在着巨大差异。由于家系和对照组是在环境和数量标准化的条件下饲养,消除了环境因素的影响,因此可认为家系与对照组的差异以及家系间的差异主要来源于遗传因素。家系间的遗传差异表明不同被选家系仍然存在较高的遗传多样性,表明下一代利用家系选育对大菱鲂进行遗传改良仍然有较高的选育潜力。

国内生产实践证实,大菱鲂在中国取得成功的早期阶段,工厂化养殖大菱鲂 2 年体重可达 1.5kg(王波等, 2003)。考虑到工厂化养殖一般从 3—4 月龄的苗种开始,体重达 1.5kg 时的实际生长月龄应该约为 27—28 月龄。本文资料表明,27 月龄时,家系 $E\delta 1 \times E\eta 2$ 、 $F\delta 4 \times N\eta 3$ 、 $F\delta 2 \times E\eta 4$ 、 $E\delta 2 \times F\eta 1$ 和 $F\delta 1 \times F\eta 4$ 的体重分别达到 1865.48、1782.13、1607.90、1541.23 和 1522.84g。这表明,经过一代选育,所选生长性能

优良家系的生长率已达到或高于国内养殖大菱鲂早期阶段的生长率。

3.2 5 个优良家系及对照组生长发育规律比较

利用 Logistic、Gompertz 和 Von bertalanffy 曲线模型对 5 个优良家系及对照组的生长发育规律进行数学模型的结果表明,除家系 $E\delta 1 \times E\eta 2$ 的 von Bertalanffy 模型的拟合度是 0.9898 外,其余拟合度均在 0.99 以上,这说明 3 种模型的拟合效果均较好,都能够很好地拟合 5 个家系及对照组的生长曲线,其不同生长发育期的体重呈现“S”型增长。但进一步分析拟合度(R^2)发现,各家系及对照组的最佳生长模型并不相同。家系 $E\delta 1 \times E\eta 2$ 、 $F\delta 2 \times E\eta 4$ 和 $E\delta 2 \times F\eta 1$ 的最优拟合模型为 Gompertz 模型,家系 $F\delta 4 \times N\eta 3$ 和 $F\delta 1 \times F\eta 4$ 的最优拟合模型为 von Bertalanffy 模型,而对照组则更适应于 Logistic 模型拟合其生长曲线。各家系及对照组的瞬时生长率、瞬时生长加速度、相对生长率、拐点月龄、拐点体重、快速生长区间也都存在较大差异。不同月龄家系的瞬时生长率均高于对照组,大多数相对生长率高于对照组,拐点月龄均较对照组拖后,拐点体重均高于对照组,快速生长区间的始速点均比对照组提前,快速生长区间长度均大于对照组。这表明,家系与对照组间以及家系间的生长发育规律存在差异。生长曲线的差异反应了各家系及对照组的生长发育存在异速性。由于养殖条件的标准化,同样可以认为这种生长发育规律的差异主要来源于遗传因素。家系拐点比对照组拖后表明,各家系后期生长较对照组仍保持较高的态势。早期采用 von Bertalanffy 模型对工厂化养殖大菱鲂生长特性的研究表明(王波等, 2003),体重拐点位于 1.3984 月龄处,由于养殖是从 3—4 月龄的苗种开始,拐点的实际月龄约为 19—20 月龄。本文 5 个家系的拐点分别是 18.55、20.11、18.51、19.12 和 18.66 月龄,与早期大菱鲂体重生长曲线拐点的时间较为相近。5 个家

表 5 商品鱼(500—1000g)的生长区间

Tab.5 Growth intervals of commercial fish (500—1000g) of the five families and the control group

家系	模型	500g 时月龄	1000g 时月龄	生长区间长度/月龄
$E\delta 1 \times E\eta 2$	$W_t = 2788.11e^{-8.60\exp(-0.12t)}$	13.4192	17.7226	4.3034
$F\delta 4 \times N\eta 3$	$W_t = 3760.43(1 - 1.14e^{-0.06t})^3$	14.0866	19.3538	5.9346
$F\delta 2 \times E\eta 4$	$W_t = 2312.63e^{-8.34\exp(-0.12t)}$	14.1233	19.1445	5.0212
$E\delta 2 \times F\eta 1$	$W_t = 2395.77e^{-8.19\exp(-0.11t)}$	15.0350	20.3448	6.9256
$F\delta 1 \times F\eta 4$	$W_t = 2857.98(1 - 1.19e^{-0.07t})^3$	14.1903	19.9084	6.4892
对照组	$W_t = 1199.77(1 + 150.22e^{-0.30t})^{-1}$	15.5865	22.0756	8.6564

系的快速生长区间的始速点均比对照组提前,且区间长度均大于对照组,即家系较对照组更早进入快速生长期,并且快速生长期比对照组持续更长的时间,显示出极强的生长发育潜力。始速点提前可使大菱鲂尽快达到商品鱼规格(500—1000g),本文的实验结果也证实了这一点。

3.3 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 模型在大菱鲂家系选育中的应用

Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 模型通常被认为是研究动物生长曲线的 3 种典型的数学模型(Kwakkel *et al*, 1993; Sales *et al*, 1997)。过去,研究者试图通过对生长曲线的数学分析,达到探讨控制动物生长的方法和机制的目的,但这个愿望一直未能实现。现在一般把生长曲线作为一种分析工具用于探讨动物生长的基本特征,以求在遗传育种等方面有更为广泛的应用(Sales *et al*, 1997; 张录强等, 2002)。在大菱鲂家系选育过程中,利用 Logistic、Gompertz 和 von Bertalanffy 模型对每个家系进行拟合,并对模型的 3 个参数(A 、 B 、 k)进行比较分析,对采用相同模型拟合的家系可从中选留具有最大生长极限的家系(A)。对有完整系列数据的 PIT 标记个体,可通过对每个个体建模获取个体的最大生长极限值。作者对这 3 个曲线模型进一步研究发现,快速生长区间由 B 和 k 两个参数决定,而快速生长区间长度大小仅取决于 k 值,利用各家系曲线模型中的参数 B 和 k 可比较不同家系的快速生长区间,这对大菱鲂尽快达到商品鱼规格的选择非常重要。在海门山羊(*Oreamnos americanus*)的研究中也发现, k 是最重要的生长模型参数,较小的变化对整个生长有重要的影响,而参数 A 和 B 对体重的影响较 k 小得多(姜勋平等, 2001)。因此,对大菱鲂进行快速生长性状选育时, k 值是一个理想的选择指标。

参 考 文 献

- 马爱军, 王新安, 雷霖霖等, 2008. 大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)四个不同地理群体数量形态特征比较. 海洋与湖沼, 39(1): 24—29
- 马爱军, 王新安, 雷霖霖等, 2009. 大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)不同生长阶段体重的遗传参数和育种值估计. 海洋与湖沼, 40(2): 187—194
- 马爱军, 王新安, 薛宝贵等, 2010. 大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)选育家系的构建和培育技术研究. 海洋与湖沼, 41(3): 301—306
- 王波, 雷霖霖, 张榭令等, 2003. 工厂化养殖的大菱鲂生长特性. 水产学报, 27(4): 358—363
- 王新安, 马爱军, 许可等, 2008. 大菱鲂幼鱼表型形态性状与体重之间的关系. 动物学报, 54(3): 540—545
- 区又君, 廖锐, 李加儿等, 2007. 驼背鲈的年龄与生长特征. 水产学报, 31(5): 624—632
- 申雪艳, 宫庆礼, 雷霖霖等, 2004. 进口大菱鲂苗种的遗传结构分析. 海洋与湖沼, 35(4): 332—341
- 师守堃, 1992. 动物育种学总论. 北京: 北京农业大学出版社, 314—315
- 苏建平, 刘季科, 2001. 甘肃鼠兔幼子生长的初步研究. 兽类学报, 21(2): 94—100
- 杨玉清, 2001. 动物生长模型的优化拟合方法. 数理统计与管理, (5): 43—48
- 杨海明, 徐琪, 戴国俊, 2004. 禽类三种常用生长曲线浅析. 中国家禽, 8(1): 164—166
- 张其永, 李福振, 杜金瑞, 1981. 厦门杏林湾鳊鱼年龄和生长的研究. 水产学报, 5(2): 121—131
- 张录强, 杨振才, 孙儒泳, 2002. 红腹锦鸡(*Chrysolophus pictus*)生长曲线分析. 北京师范大学学报(自然科学版), 38(4): 449—553
- 张健东, 2002. 中华乌塘鳢的生长、生长模型和生活史类型. 生态学报, 22(6): 841—846
- 陈毅峰, 何德奎, 曹文宣等, 2002. 色林错裸鲤的生长. 动物学报, 48(5): 667—676
- 姜勋平, 刘桂琼, 杨利国等, 2001. 海门山羊生长规律及其遗传分析. 南京农业大学学报, 24(1): 69—72
- 陶国玉, 2002. 一种确定生长曲线参数的新方法. 北京农业工程大学学报, (1): 74—80
- Bathaei S S, Leory P L, 1996. Growth and mature weight of Mehraban Iranian fat-tailed sheep. Small Ruminant Research, (22): 155—162
- Darmani Kuhu H, Kebreab E, Lopez S *et al*, 2003. An evaluation of different growth functions for describing the profile of live weight with time (age) in meat and egg strains of chicken. Poultry Science, 82(10): 1536—1543
- de Behr V, Hornick J L, Cabaraux J F *et al*, 2001. Growth patterns of Belgian Blue replacement heifers and growing males in commercial farms. Livestock Production Science, (71): 121—130
- Khamis A, Ismail Z, Horan K *et al*, 2005. Nonlinear growth models for modeling oil palm yield growth. Journal of Mathematics and Statistics, 1(3): 225—233
- Kwakkel R P, Ducro B J, Koops W J, 1993. Multiphasic analysis of growth the body and its chemical components in White Leghorn pullets. Poult Science, 72(8): 14—21
- Roush W B, Branton S L, 2005. A comparison of fitting growth models with a genetic algorithm and nonlinear regression. Poult Science, 84(3): 494—502
- Sales J D, Preez J J, van Niekerk S A, 1997. Chemical composition of the pearl grey guinea fowl. British Poult Science, 38(2): 223

GROWTH PATTERNS OF SELECTIVELY BRED TURBOT *SCOPHTHALMUS MAXIMUS*

WANG Xin-An¹, MA Ai-Jun¹, HUANG Zhi-Hui¹, LIU Qing-Ming¹, GUO Li¹,
YANG Zhi², QU Jiang-Bo²

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resources, Ministry of Agriculture; Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Qingdao, 266071;
2. Yantai Tianyuan Aquatic Limited Corporation, Yantai, 264003)

Abstract The growth curves of five families and one control group of turbot (*Scophthalmus maximus*) were fitted using three types of nonlinear growth models (Logistic, Gompertz, von Bertalanffy). The results showed that the growth curves can be fitted with all three models ($R^2 > 0.98$); however, the best model that fitted the growth curve of each family as well as the control group was different. The Gompertz model resulted in the best fit for the families E♂1×E♀2, F♂2×E♀4 and E♂2×F♀1; the von Bertalanffy model fitted the growth curves of the families F♂4×N♀3 and F♂1×F♀4 well; while the Logistic model produced the best fit for the control group. When analyzing the fitting parameters of the best models, we found that the parameters including instantaneous growth rate, growth acceleration rate, relative growth rate, time to reach respective inflection point, body weight at the inflection point, maximum monthly weight gain, and fast-growing period for each of these five families and the control group were all different. Furthermore, all five families all showed higher instantaneous growth rates, delayed inflection points, higher body weights at the inflection point, earlier onset of fast-growing period, longer fast-growing intervals than those of the control group. Finally, almost all relative growth rates of these families were higher than that of the control group; however, growth acceleration rates had large variations among these five families. Our results indicated that the growth patterns of these families and the control group were different.

Key words Turbot *Scophthalmus maximus*, Family, Growth, Model