

尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)生长相关 分析及生长模型构建*

肖 俊^{1,2} 凌正宝^{1,2} 唐瞻杨² 罗永巨² 郭忠宝²
郭恩彦² 严 欣² 张 明^{1①} 甘 西^{2①}

(1. 广西大学动物繁殖研究所 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室 南宁 530004;
2. 广西壮族自治区水产研究所 广西水产遗传育种与健康养殖重点实验室 南宁 530021)

提要 运用 Pearson 相关分析对尼罗罗非鱼可量性状进行分析, 并采用 Logistic、Gompertz、Bertalanffy 三种非线性模型对尼罗罗非鱼生长相关参数进行生长模型构建, 以研究尼罗罗非鱼的生长发育规律。结果表明: 尼罗罗非鱼各形态性状与体重之间的相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$), 体重与全长、体长、体高的相关性相对显著, 与尾柄长的相关性不明显。生长模型研究结果表明: 三种模型均能很好地模拟尼罗罗非鱼生长曲线, 拟合度(R^2)均高于 0.983, 其中以 Logistic 模型的拟合度最高($R^2=0.991$), 运用这 3 种模型对尼罗罗非鱼进行生长曲线的拟合和比较分析较为可行。

关键词 尼罗罗非鱼, 相关分析, 生长模型

中图分类号 Q176

罗非鱼属于鲈形目丽鱼科(Cichlidae)、罗非鱼属(*Tilapia*), 原产于非洲, 由于生长速度快、肉质鲜美、无肌间刺等特点, 现已成为联合国粮农组织(FAO)推荐养殖的优质水产养殖品种, 现已广泛被世界各国和地区所引进, 已成为世界性的养殖鱼类。尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)是目前最重要的罗非鱼育种目标品种。养殖最为广泛的吉富罗非鱼(GIFT strain, *Oreochromis niloticus*)就是世界渔业中心在菲律宾用 8 个不同地域的尼罗罗非鱼杂交后经过十几年的选育而成的品种; 而由尼罗罗非鱼做母本与雄性奥利亚罗非鱼杂交获得的奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)由于具有雄性率高、抗逆性强、生长快速的优点, 也日益受到养殖户的欢迎。我国的尼罗罗非鱼是 20 世纪 70 年代由中国水产科学研究院长江水产研究所引进, 由于引进时间较长, 加之生产中对保种工作不够重视导致其近年来种质退化现象较为普遍,

因此, 加强尼罗罗非鱼的选育工作势在必行。

开展选育工作的首要任务是确定选育目标, 本研究采用 Pearson 相关分析对罗非鱼生长相关性状进行相关分析和构建生长模型的方法来确定尼罗罗非鱼的选育目标。Pearson 相关分析用于双变量正态分布的资料, 用来衡量定距变量间的线性关系, 已广泛应用于畜牧选育目标性状的确定(周洪松等, 1994; 易春明等, 2002; 贺晓宏等, 2004); 同时, 相关分析方法在水生生物的形态差异分析中也有些报道, 如大口黑鲈(何小燕等, 2009)、奥利亚罗非鱼(曾兰等, 2012)、南海毛蚶(王辉等, 2009)等。本研究以体重为目标性状运用 Pearson 相关分析剖析各性状对体重影响作用的大小; 生长曲线模型能反应个体生长发育的规律性变化(刘海斌等, 2008; 汪峰等, 2008), 生长曲线的拟合与分析是研究个体生长发育规律的方法之一(强巴央宗等, 2008), 目前在水产经济动物中已

* 国家自然科学基金项目, 31260637 号; 中国博士后科学基金项目, 20110490867 号; 国家现代农业产业技术体系项目, CARS-49 号; 广西壮族自治区科技攻关与新产品试制项目, 1123006-1 号, 1123006-3 号; 广西壮族自治区直属公益性科研院所本科业务费专项资金项目, 2060302 CXIF-2011-04 号。肖 俊, 博士, E-mail: dreamshaw@hotmail.com

① 通讯作者: 张 明, 教授, E-mail: mingzhang@gxu.edu.cn; 甘 西, 研究员, E-mail: ganxicn@126.com

收稿日期: 2012-08-19, 收修改稿日期: 2012-10-09

开展一些研究,如:霍堂斌等(2008)利用 Logistic、Gompertz、Bertallanffy 三种生长模型对新疆 3 种雅罗鱼体重生长的拐点年龄进行了比较分析,何小燕等(2011)利用 Logistic、Gompertz、Bertallanffy 三种生长模型研究了大口黑鲈早期生长发育规律,但在尼罗罗非鱼中未见相关研究报道。本研究采用 Logistic、Gompertz 和 Bertallanffy 三种被广泛采用的非线性模型(Richards, 1959; Mercer *et al*, 1978; Pauly, 1981; Carlander, 1987; Darmani *et al*, 2003),对饲养在广西南宁国家级罗非鱼良种场的美国品系尼罗罗非鱼进行生长曲线的拟合,以期揭示尼罗罗非鱼的生长发育规律,为选育目标的确立提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究实验用鱼来自广西南宁国家级罗非鱼良种场的美国品系尼罗罗非鱼选育群体,实验池塘面积 $666.7\times1.5\text{m}^2$,放养数量 2000 尾。投喂膨化罗非鱼饲料,投饲率按实验鱼体重的 3%左右投喂,实验期间各阶段的饲养管理水平保持一致,喂养 1 月、1.5 月、2 月、2.5 月、3 月、3.5 月时分别随机选取 80 尾,测定各项形态参数。

1.2 形态参数的测量

使用游标卡尺测量全长、体长、头长、头高、躯干长、体高、尾柄长、尾柄高、体宽等形态性状参数,精确到 0.01cm;使用电子天平称量体重,精确到 0.1g。

1.3 数据统计及分析

1.3.1 Pearson 相关分析 运用 SPSS17.0 软件对所测各数据进行 Pearson 相关分析,得出尼罗罗非鱼各形态性状与体重之间的 Pearson 相关系数和各形态性状的平均值、标准差,剖析各性状对体重的影响作用大小。再运用得出的平均值与标准差,计算出各形态性状的变异系数。根据所测尼罗罗非鱼性状的平均值和标准差,得出不同时期的各形状性状的变异系数(变异系数=标准差/平均值)。

1.3.2 生长模型构建 通过相关分析得出不同时期尼罗罗非鱼的体重平均值等数据拟合 Logistic、Gompertz、Bertallanffy 三种生长模型(表 1)。用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件对实验数据进行处理,对处理后的数据用 SPSS 17.0 软件进行 Pearson 相关分析得出尼罗罗非鱼各形态性状的平均值和标准差,剖析各性状对体重的影响作用的大小,得出 3 种生长曲线参数估计值。再利用得出的体重平均值,计算出各种模型的极限生长量、拐点月龄和最大月增重等参数,将拟合度(R^2)作为衡量拟合指标优劣的指标, R^2 越接近 1,表明曲线拟合得越好。

2 结果与分析

2.1 尼罗罗非鱼早期性状的表型参数

通过 Pearson 相关分析得出尼罗罗非鱼早期性状的表型参数(表 2)。由表 2 可知,尼罗罗非鱼从 2 月龄到 2.5 月龄之间增重最快,各月龄体重的标准差由小到大的顺序为:1 月龄 < 1.5 月龄 < 2 月龄 < 2.5 月龄 < 3 月龄 < 3.5 月龄,说明随着养殖时间的增加,鱼群中的体重个体差异越大。根据所测尼罗罗非鱼性状的平均值和标准差,得出不同时期的各形态性状的变异系数(表 2)。由此可知,体重的变异系数最大,各月龄体重的变异系数由小到大的顺序为 2.5 月龄 < 3 月龄 < 3.5 月龄 < 1.5 月龄 < 2 月龄 < 1 月龄(注:变异系数越小,表明形态差异就越小)。

2.2 尼罗罗非鱼早期性状间的相关系数

尼罗罗非鱼形态性状与体重两两之间的 Pearson 相关系数见表 3。由表 3 可知,各形态性状与体重之间的 Pearson 相关系数均达到了极显著水平($P<0.01$)。体重与全长、体长、体高的相关性最显著,与尾柄长的相关性最弱。其中,1 月龄、2.5 月龄时体重与体高的相关系数最大,分别为 0.961、0.960;1.5 月龄、2 月龄、3 月龄、3.5 月龄时体重与全长的相关系数最大,分别为 0.980、0.968、0.978、0.954。1—3.5 月龄体重与所测的其他表型性状相比,体重与尾柄长的

表 1 三种常用动物生长曲线模型
Tab.1 Three kinds of growth curve models

名称	模型	拐点体重(W)	拐点月龄(A_t)	最大月增重(M_g)
Gompertz	$W_t = Ae^{-b\exp(-kt)}$	A/e	$(\ln B)/k$	kW
Logistic	$W_t = A/(1 + Be^{-kt})$	$A/2$	$(\ln B)/k$	$kW/2$
Bertallanffy	$W_t = A(1 - Be^{-kt})^3$	$8A/27$	$(\ln 3B)/k$	$3kW/2$

注: W_t 为 t 时的体重估计值; A 为极限生长量; B 为调节参数; k 为瞬时相对增长率; W 为拐点体重, A_t 是拐点月龄; M_g 为最大月增重。
表 4 同

表 2 所测性状的表型统计量(n=80)
Tab.2 The apparent statistics of various traits (n=80)

月龄	参数	全长 X_1	体重 X_2	体长 X_3	头长 X_4	头高 X_5	躯干长 X_6	体高 X_7	尾柄长 X_8	尾柄高 X_9	体宽 X_{10}
1 月	平均值	8.2739	12.4710	6.8220	2.2191	1.6494	2.7304	2.6125	0.8930	1.0352	1.2731
	标准差	1.3322	6.3482	1.0856	0.3729	0.3794	0.4826	0.5210	0.1962	0.1780	0.2333
	变异系数(%)	16.10	50.90	15.91	16.80	23.00	17.68	19.94	21.97	17.19	18.33
1.5 月	平均值	11.2586	33.3820	9.0500	2.8144	2.5997	5.3030	3.8444	0.9856	1.3619	1.8765
	标准差	1.4438	13.0581	1.2233	0.3866	0.3497	0.7227	0.5938	0.1922	0.1976	0.2846
	变异系数(%)	12.82	39.12	13.52	13.74	13.45	13.63	15.45	19.50	14.51	15.17
2 月	平均值	13.5400	56.1525	11.2918	3.6780	2.9762	6.4665	4.4464	1.3967	1.7583	2.1189
	标准差	1.7787	23.0052	1.4193	0.4585	0.3848	0.8952	0.6855	0.2022	0.2583	0.3565
	变异系数(%)	13.14	40.97	12.57	12.47	12.93	13.84	15.42	14.48	14.69	16.82
2.5 月	平均值	16.7256	112.4634	13.8330	4.4585	3.5579	8.1107	5.9474	1.7135	2.2315	2.9699
	标准差	1.2383	27.5009	0.9776	0.3651	0.3163	0.6659	0.6170	0.1736	0.2034	0.3148
	变异系数(%)	7.40	24.45	7.07	8.19	8.89	8.21	10.37	10.13	9.11	10.60
3 月	平均值	17.6468	131.8415	14.5729	4.7050	3.8820	8.6321	6.2390	1.7570	2.3394	3.1704
	标准差	1.4412	34.0611	1.1234	0.3688	0.3432	0.7779	0.6066	0.2016	0.2136	0.3465
	变异系数(%)	8.17	25.83	7.71	7.84	8.84	9.01	9.72	11.47	9.13	10.93
3.5 月	平均值	18.7624	152.5000	15.4560	4.9332	3.9469	9.2177	6.3940	1.8439	2.4100	3.2489
	标准差	1.7392	47.2923	1.5005	0.5239	0.4213	1.0634	0.8716	0.4943	0.2735	0.4185
	变异系数(%)	9.27	31.01	9.71	10.62	10.67	11.54	13.63	26.81	11.35	12.88

表 3 尼罗罗非鱼不同月龄各性状间的表型相关
Tab.3 The correlation analysis between morphological traits of Nile tilapia at different age

月龄	性状	体重 X_2	全长 X_1	体长 X_3	头长 X_4	头高 X_5	躯干长 X_6	体高 X_7	尾柄长 X_8	尾柄高 X_9	体宽 X_{10}
1 月	体重	1.000									
	全长	0.958**	1.000								
	体长	0.960**	0.983**	1.000							
	头长	0.899**	0.931**	0.940**	1.000						
	头高	0.873**	0.901**	0.915**	0.956**	1.000					
	躯干长	0.928**	0.961**	0.945**	0.891**	0.852**	1.000				
	体高	0.961**	0.972**	0.970**	0.910**	0.884**	0.950**	1.000			
	尾柄长	0.624**	0.625**	0.655**	0.624**	0.603**	0.696**	0.627**	1.000		
	尾柄高	0.908**	0.937**	0.937**	0.892**	0.859**	0.889**	0.938**	0.574**	1.000	
	体宽	0.929**	0.942**	0.941**	0.904**	0.886**	0.880**	0.920**	0.612**	0.890**	1.000
1.5 月	体重	1.000									
	全长	0.980**	1.000								
	体长	0.959**	0.977**	1.000							
	头长	0.889**	0.897**	0.900**	1.000						
	头高	0.797**	0.803**	0.748**	0.790**	1.000					
	躯干长	0.940**	0.947**	0.919**	0.803**	0.832**	1.000				
	体高	0.966**	0.969**	0.954**	0.861**	0.755**	0.907**	1.000			

续表 3

月龄	性状	体重 X_2	全长 X_1	体长 X_3	头长 X_4	头高 X_5	躯干长 X_6	体高 X_7	尾柄长 X_8	尾柄高 X_9	体宽 X_{10}
2 月	尾柄长	0.672**	0.694**	0.758**	0.662**	0.315**	0.572**	0.723**	1.000		
	尾柄高	0.956**	0.960**	0.953**	0.871**	0.727**	0.905**	0.963**	0.735**	1.000	
	体宽	0.936**	0.948**	0.920**	0.868**	0.783**	0.906**	0.912**	0.616**	0.901**	1.000
	体重	1.000									
	全长	0.968**	1.000								
	体长	0.949**	0.983**	1.000							
	头长	0.935**	0.961**	0.966**	1.000						
	头高	0.928**	0.948**	0.947**	0.929**	1.000					
	躯干长	0.953**	0.980**	0.981**	0.955**	0.947**	1.000				
	体高	0.957**	0.974**	0.967**	0.956**	0.951**	0.968**	1.000			
2.5 月	尾柄长	0.677**	0.688**	0.695**	0.672**	0.624**	0.686**	0.667**	1.000		
	尾柄高	0.940**	0.960**	0.962**	0.954**	0.951**	0.957**	0.958**	0.702**	1.000	
	体宽	0.950**	0.958**	0.951**	0.924**	0.951**	0.951**	0.951**	0.663**	0.937**	1.000
	体重	1.000									
	全长	0.956**	1.000								
	体长	0.952**	0.984**	1.000							
	头长	0.892**	0.888**	0.876**	1.000						
	头高	0.859**	0.825**	0.815**	0.848**	1.000					
	躯干长	0.954**	0.964**	0.958**	0.862**	0.829**	1.000				
	体高	0.960**	0.935**	0.916**	0.899**	0.849**	0.930**	1.000			
3 月	尾柄长	0.703**	0.683**	0.679**	0.640**	0.572**	0.678**	0.679**	1.000		
	尾柄高	0.929**	0.915**	0.906**	0.842**	0.836**	0.920**	0.905**	0.716**	1.000	
	体宽	0.932**	0.884**	0.887**	0.833**	0.851**	0.901**	0.922**	0.639**	0.888**	1.000
	体重	1.000									
	全长	0.978**	1.000								
	体长	0.963**	0.984**	1.000							
	头长	0.901**	0.913**	0.901**	1.000						
	头高	0.871**	0.863**	0.860**	0.838**	1.000					
	躯干长	0.947**	0.954**	0.946**	0.849**	0.788**	1.000				
	体高	0.933**	0.915**	0.883**	0.858**	0.875**	0.871**	1.000			
3.5 月	尾柄长	0.639**	0.650**	0.656**	0.594**	0.629**	0.604**	0.615**	1.000		
	尾柄高	0.911**	0.904**	0.889**	0.839**	0.812**	0.867**	0.883**	0.626**	1.000	
	体宽	0.934**	0.914**	0.898**	0.848**	0.807**	0.895**	0.893**	0.590**	0.866**	1.000
	体重	1.000									
	全长	0.954**	1.000								
	体长	0.848**	0.877**	1.000							
	头长	0.799**	0.799**	0.714**	1.000						
	头高	0.898**	0.895**	0.769**	0.794**	1.000					
	躯干长	0.844**	0.851**	0.784**	0.679**	0.772**	1.000				
	体高	0.891**	0.834**	0.756**	0.734**	0.801**	0.744**	1.000			
	尾柄长	0.333**	0.336**	0.326**	0.318**	0.307**	0.355**	0.291**	1.000		
	尾柄高	0.931**	0.914**	0.805**	0.742**	0.861**	0.764**	0.845**	0.317**	1.000	
	体宽	0.917**	0.872**	0.769**	0.713**	0.818**	0.767**	0.873**	0.318**	0.877**	1.000

注: **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关

相关性最小, 分别为 0.624、0.672、0.677、0.703、0.639、0.333。各形态性状之间的相关系数亦达到极显著水平($P<0.01$), 呈现强相关, 有很大可能存在不同程度的多重共线性问题(注: Pearson 相关系数越大, 表明二者之间的关系越紧密)。

2.3 生长模型构建

尼罗罗非鱼 Gompertz、Logistic 和 Bertallanffy 模型生长曲线拟合参数估计值和拟合度(R^2)见表 4、表 5。

从表 4 可知, 3 种生长模型均能很好地模拟尼罗罗非鱼的生长曲线, 其拟合度分别为 0.987、0.991、0.983。就这三种模型而言, Logistic 模型的拟合效果最好($R^2=0.991$)。Logistic 模型拟合的尼罗罗非鱼拐点月龄为 0.725 月, 拐点体重是 80.421g, 最大月增重为

85.729g。Gompertz 和 Bertallanffy 模型拟合的拐点月龄分别为 2.039 月、1.957 月, 拐点体重分别是 69.420g、69.390g, 最大月增重分别是 75.807g、71.569g。

由表 5 可知, 用三种生长曲线模型拟合的各月观测值与实际观测值较为接近。在估计尼罗罗非鱼早期体重时, Gompertz 和 Bertallanffy 模型的估计值与实际测量值更为接近, 但总的来说, Logistic 模型的拟合度比另外两种模型更好, 拟合精度更高。

对实际测量值与三种生长模型的估计值进行配对样本 t 检验, 实际测量值与 Gompertz 模型的估计值、Logistic 模型估计值、Bertallanffy 三者之间的 P 值分别为 0.881、0.013、0.894, 说明实际测量值与 Logistic 模型估计值显著相关($P<0.05$)。

表 4 尼罗罗非鱼 3 种生长曲线参数估计值
Tab.4 Three growth curve estimation parameter of Nile tilapia

生长模型	A	B	k	R^2	拐点体重(W)	拐点月龄(A_i)	最大月增重(M_g)
Gompertz	188.683	9.264	1.092	0.987	69.420	2.039	75.807
Logistic	160.841	4.689	2.132	0.991	80.421	0.725	85.729
Bertallanffy	217.317	1.421	0.741	0.983	64.390	1.957	71.569

表 5 尼罗罗非鱼体重实际测量值与估计值的比较
Tab.5 The weight comparison between actual value and estimated value of Nile tilapia

模型	1 月龄	1.5 月龄	2 月龄	2.5 月龄	3 月龄	3.5 月龄
实际测量值	12.471	33.382	56.153	112.463	131.842	152.500
Gompertz	8.428	31.170	66.491	103.138	132.964	154.064
Logistic*	103.368	134.934	150.883	157.271	159.564	160.360
Bertallanffy	7.323	32.721	67.431	101.943	131.585	155.277

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关($P<0.05$, 显著相关)。表内数据均为体重(g)

3 讨论

3.1 影响尼罗罗非鱼体重的主要形态性状的确定

相关分析是研究变量间密切程度的一种统计方法, 当分析多个事物之间的关系, 而这种关系又往往是变量之间的数量关系时, 可用双变量相关分析方法, 并做出统计学判断(李志辉等, 2003)。本研究得到的结果表明, 尼罗罗非鱼的各形态性状与体重的线性关系均极为显著。其中, 全长、体长、体高与体重的相关性最为显著。这个结果表明, 在选育工作中, 对生长性状进行选育时, 如果对鱼体型也有选育要求(如出肉率等性状), 可只以这几项体型性状作为主选性状对选育目标进行选育, 从而提高育种效率。但在不同时期, 三者与体重的相关系数大小存在差异。

造成这种差异的原因, 可能是不同时期的尼罗罗非鱼的个体形态存在差异所致。因此, 今后在尼罗罗非鱼选育过程中, 可根据本研究结果, 在尼罗罗非鱼生长不同时期采用相关性最显著的性状作为主选性状, 将会较大程度地节约育种成本。

3.2 尼罗罗非鱼体重变异系数

变异系数是衡量观测值变异程度的一个统计量, 反应单位均值上的离散程度。对于生长性状, 相似性一般表现为群体内同龄个体间大小的一致性, 可以用体重变异系数表示(李思发等, 2000)。生长一致性在一定程度上表现了群体间基因的同质性, 基因的纯合度越高, 生长一致性越好。对于养殖生产, 群体的体重变异系数越小, 成鱼出池规格差异就越小, 养殖效益就越高。本试验中得出了尼罗罗非鱼早期的体

重变异系数(表 2), 通过双变量分析, 发现不同时期体重变异系数在 0.05 水平下显著相关。在今后选育工作中, 研究人员可根据本研究结果选择在体重变异系数大的时间段进行选育, 有可能提高选育效率。

3.3 尼罗罗非鱼生长模型的选择

尼罗罗非鱼生长模型可以用于描述罗非鱼生长过程, 反映机体生长发育规律。利用生长模型及其推导出的参数方程能为尼罗罗非鱼制定早期生长发育标准, 进行预测各生长阶段的累积生长、绝对生长、相对生长等生长资料, 确定拐点月龄、饲料营养水平、制定生产计划等, 为尼罗罗非鱼的进一步选育和规模化养殖提供可靠的理论依据。目前已有许多生长模型用于鱼类的生长研究中(Jolicoeur, 1985; Parks, 1982; Wan *et al*, 1998; Kosc, 2001), 本研究所采用的 3 种非线性模型均能很好地拟合尼罗罗非鱼的体重生长, 其拟合度都在 0.983 以上, 其中以 Logistic 模型的拟合度最高, 这与何小燕等(2011)的研究结果一致。但进一步分析 3 种模型的拟合参数, Gompertz 和 Bertallanffy 拟合的体重值与实际测量值更为接近, 而 Logistic 模型拟合的体重值与实际测量值有较大差异, 存在这个差异的原因, 可能是 Logistic 模型在尼罗罗非鱼中有一定适用性问题, 运用 Logistic 模型对尼罗罗非鱼生长进行拟合是否可行, 需要进一步研究。

生长曲线拐点的含义是生长速率最快的时候(项云等, 2000)。本试验拟合 Logistic 模型拟合的尼罗罗非鱼生长拐点为 0.725 月龄, 要明显早于 Gompertz 和 Bertallanffy 模型的拟合结果。就 Gompertz 和 Bertallanffy 模型而言, Gompertz 模型曲线拐点(2.039 月)出现要稍稍晚于 Bertallanffy 模型(1.957 月)。但 Gompertz 和 Bertallanffy 模型拟合的体重值与实际测量值较为符合, 同时这两个曲线得到的生长曲线拐点也较接近, 因此作者也认为, 尼罗罗非鱼的真实生长曲线拐点应该在 2 个月左右。

在动物生长最适模型的研究上, 对不同物种或同一物种的研究结果多不一致, 可能与研究对象在不同的生长环境中都有其特定的生长规律有关(颜晓勇等, 2009)。影响罗非鱼生长的因素是多方面的, 如水质、温度、饵料、管理水平之间的差异。因鱼类种苗不同以及生长环境的差异, 对不同鱼类或者同一鱼类利用同一模型预测, 所得到的参数也不一样, 根据本研究, 作者认为生长曲线拐点 Gompertz 和 Bertallanffy 模型对于尼罗罗非鱼较为适合。

参 考 文 献

- 刘海斌, 吴占福, 闫贵龙等, 2008. 塞北乌骨鸡生长发育规律及生长曲线拟合研究. 畜牧与兽医, 40(6): 55—56
- 李志辉, 罗 平, 2003. SPSS for Windows 统计分析教程. 北京: 电子工业出版社, 213—216
- 李思发, 蔡完其, 2000. 团头鲂双向选育效应研究. 水产学报, 24(3): 201—205
- 何小燕, 白俊杰, 樊佳佳等, 2011. 大口黑鲈早期生长发育规律的研究. 大连海洋大学学报, 26(1): 23—29
- 何小燕, 刘小林, 白俊杰等, 2009. 大口黑鲈形态性状对体重的影响效果分析. 水产学报, 33(4): 597—603
- 汪 峰, 潘如芳, 张家良等, 2008. 太湖鸡生长发育与曲线拟合情况分析. 畜牧与兽医, 4(1): 57—60
- 易春明, 李树聪, 虞 良等, 2002. 乳牛产乳量与几项系统因子间的回归分析及其应用. 畜牧兽医学报, 33(3): 239—242
- 周洪松, 赵益贤, 刘旭光等, 1994. 雏鸡血清蛋白含量与生长性状间相关的通径分析. 畜牧兽医学报, 25(4): 301—305
- 项 云, 王 伟, 2000. 不同育雏方式下雏鸡的生长曲线. 浙江农业学报, 12(1): 49—52
- 贺晓宏, 张 涛, 张亚妮等, 2004. 绒山羊体尺、绒毛性状与经济性状的多元统计分析. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 32(1): 85—89
- 颜晓勇, 钟金香, 李思发等, 2009. 吉富品系尼罗罗非鱼选育系 F₆、F₇ 和 F₈ 当年鱼对比研究. 南方水产, 5(1): 49—53
- 曾 兰, 林 勇, 张永德等, 2012. 奥利亚罗非鱼形态性状与体重的通径分析. 西南农业学报, 25(1): 295—301
- 强巴央宗, 翟明霞, 谢 庄等, 2008. 藏鸡体重和胫长 Gompertz 生长曲线及相关性分析. 南京农业大学学报, 31(2): 86—90
- 霍堂斌, 马 波, 唐富江等, 2008. 新疆 3 种雅罗鱼生长模型的比较研究. 水产学杂志, 21(2): 8—14
- Carlander K K, 1987. A history of Scale Age and Growth Studies of North American Freshwater Fish. In: Summerfelt R C, Hall G T ed. Age and Growth of Fish. Iowa: Iowa State University Press, 3—14
- Darmani H, Kuhi E, Kebreab S *et al*, 2003. An evaluation of different growth functions for describing the profile of live weight with time in meat and egg strains of chicken. Poultry Science, 82: 1536—1543
- Jolicoeur P, 1985. A flexible 3-parameter curve for limited or unlimited somatic growth. Growth, 49(4): 271—281
- Kosc J, 2001. Age and growth of pike in irrigation canals of the East Slovakian Lowland Czech. Animal Science, 46(1): 34—40
- Mercer L P, Flodin N W, Morgen P H, 1978. New methods for comparing the biological efficiency of alternate nutrient sources. Journal of Nutrition, 108: 1244—1249
- Parks J R, 1982. A theory of feeding and growth of animals. Berlin and New York: Springer Verlag, 4—23
- Pauly D, 1981. The relationship between gill surface area and growth performance in fish: A generalization of Von Berta-

lanffy's theory of growth. Meeresforsch, 28(4): 251—282
Richards F J, 1959. A flexible growth function for empirical use.
Journal of Experimental Botany, 10(2): 290—300

Wan X R, Zhong W Q, Wang M I, 1998. New flexible growth
function and its application to the growth of small mammals.
Growth, Development, and Aging, 62(1—2): 27—36

STUDY ON CORRELATION ANALYSIS AND GROWTH MODEL IN NILE TILAPIA *OREOCHROMIS NILOTICUS*

XIAO Jun^{1, 2}, LING Zheng-Bao^{1, 2}, TANG Zhan-Yang², LUO Yong-Ju²,
GUO Zhong-Bao², GUO En-Yan², YAN Xin², ZHANG Ming¹, GAN Xi²

(1. Guangxi University, Animal Reproduction Institute, State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical
Agro-bioresources, Nanning, 530004; 2. Guangxi Fisheries Research Institute, Guangxi Key Laboratory of
Aquatic Genetic Breeding and Healthy Aquaculture, Nanning, 530021)

Abstract In order to study the regular pattern of growth and development in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, we used the Pearson correlation analysis and three nonlinear models which were Logistic, Gompertz and Bertalanffy to structure the growth model of Nile tilapia. The result showed that the correlation coefficient of Nile tilapia between every morphological traits and body weight had reached a significant level ($P < 0.01$), total length, body length and body height had a high correlation with body weight, but the correlation with caudal peduncle length was not obvious. This study structured three growth models of Nile tilapia which were Logistic, Gompertz and Bertalanffy, respectively. The result showed that this three models could simulate the growth curve well, the goodness of fit (R^2) using the three models were higher than 0.983, and the Logistic model ($R^2 = 0.991$) is highest. Therefore, it is feasible that using these three models to simulate the growth curve of Nile tilapia. This result could increase efficiency of Nile tilapia selective breeding.

Key words Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, Growth model, Correlation analysis