

鄱阳湖鲌属 (*Culter*) 和原鲌属 (*Culterichthys*) 鱼类体重与体维关系*

张小谷^{1,2}, 熊邦喜^{1**}

(1: 华中农业大学水产学院, 武汉 430070)

(2: 九江学院生命科学学院, 九江 332000)

摘要: 实测和回归分析鄱阳湖鲌属 (*Culter*) 的翘嘴鲌 (*C. alburnus*)、蒙古鲌 (*C. mongolicus*)、达氏鲌 (*C. dabryi*) 和原鲌属 (*Culterichthys*) 的红鳍原鲌 (*C. erythropterus*) 体重与体维关系。结果表明, 多元回归方程能全面地反映不同体维对鱼类体重的影响, 体重与体侧面积体厚的回归方程较适宜。其体重 (W) 与体侧面积 (A) 及体厚 (T) 的幂函数关系式分别是, 翘嘴鲌: $W = 4.05051 \times 10^{-3} A^{0.66260} T^{1.41994}$; 蒙古鲌: $W = 3.18603 \times 10^{-3} A^{0.66845} T^{1.44376}$; 达氏鲌: $W = 1.99310 \times 10^{-3} A^{0.70982} T^{1.47305}$; 红鳍原鲌: $W = 3.58823 \times 10^{-3} A^{0.63253} T^{1.49465}$ 。

关键词: 鲌属; 原鲌属; 体重; 体维; 鄱阳湖

On the relationship between body weight and body dimensions of *Culter* and *Culterichthys* in Lake Poyang

ZHANG Xiaogu^{1,2} & XIONG Bangxi^{1**}

(1: College of Fisheries, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, P. R. China)

(2: College of Life Science, Jiujiang University, Jiujiang 332000, P. R. China)

Abstract: The weight and dimensions of individuals for four species, *Culter alburnus*, *C. mongolicus*, *C. dabryi*, and *Culterichthys erythropterus* from Lake Poyang were measured and their regression equations were given. The multivariate formulae are better due to the fact that they reflect more comprehensively the effect of various dimensions on the weight of fish. The regression equations for body weight, side area and width are feasible. In the present study, the power equations that can give better results are $W = 4.05051 \times 10^{-3} A^{0.66260} T^{1.41994}$ (*C. alburnus*), $W = 3.18603 \times 10^{-3} A^{0.66845} T^{1.44376}$ (*C. mongolicus*), $W = 1.99310 \times 10^{-3} A^{0.70982} T^{1.47305}$ (*C. dabryi*) and $W = 3.58823 \times 10^{-3} A^{0.63253} T^{1.49465}$ (*C. erythropterus*).

Keywords: *Culter*; *Culterichthys*; body weight; body dimensions; Lake Poyang

鲌属 (*Culter*) 和原鲌属 (*Culterichthys*) 鱼类是东亚特有的一个类群, 在我国分布有 8 种 3 亚种^[1]。继太湖翘嘴鲌 (*C. alburnus*) 人工繁殖成功后, 近几年在洞庭湖和鄱阳湖尝试人工繁殖蒙古鲌 (*C. mongolicus*), 鲌属鱼类将有望开发成为我国淡水养殖的优良新品种。

鄱阳湖 (Lake Poyang) 是我国第一大淡水湖, 位于长江中下游南岸, 东经 $115^{\circ}49' - 116^{\circ}46'$, 北纬 $28^{\circ}24' - 29^{\circ}46'$, 是典型的季节性吞吐型湖泊, 常年平均水位 16 m, 湖泊面积 3597 km² (其中内湖 827 km², 外湖 2770 km²)。鄱阳湖鱼类资源十分丰富, 其中有鲌属的翘嘴鲌、蒙古鲌、达氏鲌 (*C. dabryi*)、尖头鲌 (*C. oxycephalus*)、拟尖头鲌 (*C. oxycephaloides*) 5 种和原鲌属的红鳍原鲌 (*C. erythropterus*) 1 种^[2]。这 6 种鱼类在鄱阳湖天然渔业中占有一定的地位, 也是大规模苗种繁育的良好生产基地。多年以来, 由于过度捕捞等原因, 鄱阳湖鲌鱼类资源正受到威胁和衰退, 尖头鲌和拟尖头鲌已较少见。为此, 对鄱阳湖鲌鱼类种群生物学开展研究, 可为鄱阳湖鲌鱼类资源保护与合理利用提供依据。

* 江西省教育厅科技课题 (项目) (JYTKJ0201) 资助。2006-07-17 收稿; 2006-10-21 收修改稿。张小谷, 男, 1967 年生, 博士研究生, 副教授。

** 通讯作者; E-mail: Bangxi8@mail.hzau.edu.cn.

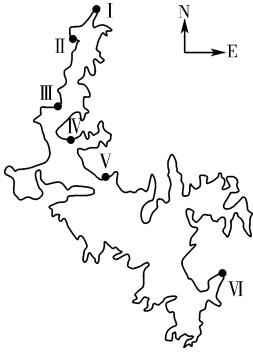


图1 采样点分布示意图

Fig. 1 The sampling map in the present study

1 材料与方法

1.1 材料

研究对象为2005年1月至2006年3月采集于鄱阳湖湖区(图1)(双钟镇、姑塘镇、南康镇、多宝乡、都昌镇、鄱阳镇)的鲌鱼,共检测4种551尾,采集的鱼类标本通过表型特征按《中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目》(中卷)^[1]进行检索分类。采样点见图1,测量标本的数量及全长统计见表1。

1.2 测量

采集新鲜的标本用碎冰保存运输到实验室。以天平或感量为1g的盘称进行称重,精确到0.1g或1g。洗净后平放在瓷盘,用数码照相机摄影,以Motic Images Advanced 3.2软件测量体长、体高、体侧面积,用卡尺、细线和分规等测量体厚和体周长,长度数据精确到0.01mm,面积数据精确到0.01mm²。测量数据统计见表2。

表1 研究标本的数量及全长统计

Tab. 1 Statistics for the number and total length in specimens employed in the present study

物种	标本数(尾)	全长(mm)	
		范围	平均值 ± 标准差
翘嘴鲌	171	135.05 - 427.50	253.34 ± 77.19
蒙古鲌	110	133.05 - 374.53	249.88 ± 65.10
达氏鲌	121	135.76 - 359.62	249.15 ± 58.22
红鳍原鲌	149	115.73 - 306.83	206.15 ± 42.15

表2 研究标本的测量数据统计*

Tab. 2 Statistics for data in specimens employed in the present study

物种	体重(g)	体长(mm)	体高(mm)	体厚(mm)	体周长(mm)	体侧面积(mm ²)
	范围	范围	范围	范围	范围	范围
	平均值 ± 标准差	平均值 ± 标准差	平均值 ± 标准差	平均值 ± 标准差	平均值 ± 标准差	平均值 ± 标准差
翘嘴鲌	15.0 - 578.0 136.38 ± 114.50	109.15 - 354.99 207.68 ± 65.42	26.55 - 94.17 50.34 ± 16.81	8.76 - 35.08 19.97 ± 7.33	57.30 - 217.80 114.00 ± 38.28	1899.18 - 24759.98 8483.40 ± 5216.35
蒙古鲌	13.0 - 364.0 132.70 ± 90.69	104.85 - 309.08 203.78 ± 55.54	24.36 - 80.12 51.02 ± 14.72	9.90 - 34.98 22.48 ± 7.01	60.50 - 180.30 118.10 ± 32.75	1884.62 - 48424.79 8613.12 ± 5946.13
达氏鲌	19.0 - 465.0 153.25 ± 105.68	109.55 - 300.08 205.49 ± 49.65	31.11 - 96.82 60.75 ± 16.16	10.70 - 37.06 23.35 ± 6.59	14.48 - 214.80 135.73 ± 35.67	2329.42 - 19778.30 9269.20 ± 4411.28
红鳍原鲌	12.5 - 343.0 90.65 ± 72.17	94.88 - 264.55 172.64 ± 37.67	25.22 - 81.75 47.62 ± 11.64	10.06 - 36.78 19.65 ± 5.74	58.60 - 182.30 107.61 ± 26.89	1745.04 - 15635.54 6414.57 ± 3117.88

* 体重(W);体长(T):鱼体最前端至尾鳍基部的直线长度;体高(D):鱼体背鳍起点处的垂直高度;体厚(T):鱼体躯干部左右侧厚度的最大值;体周长(P):鱼体背鳍起点处的体围大小;体侧面积(A):鱼体左侧边缘线(除各鳍部分)围成的面积。

1.3 数据处理

用Microsoft Excel和STATISTICA 6.0软件,对2005年1月至2006年1月采集的4种466尾鲌鱼(翘嘴

鮡 139 尾、蒙古鮡 96 尾、达氏鮡 99 尾、红鳍原鮡 132 尾),通过体重-体长、体重-体高、体重-体厚、体重-体周长、体重-体侧面积 5 组相关数据,采用一元对数直线回归方程加以拟合;通过体重-体长体高体厚、体重-体长体周长、体重-体厚体侧面积 3 组多变量相关数据,采用对数直线回归方程进行拟合;通过体重-体长、体重-体高、体重-体厚 3 组有关数据,采用一元二项式回归方程进行拟合. 同时,计算不同回归方程的 F 统计量、相关系数 R^2 ,进行显著性检验和偏回归系数检验,并计算回归方程的残差平方和. 用 2006 年 2 月至 3 月采集的 4 种 85 尾鮡鱼(翘嘴鮡 32 尾、蒙古鮡 14 尾、达氏鮡 22 尾、红鳍原鮡 17 尾)测量的有关数据回代至相关回归方程,对估算的个体体重与实际体重进行统计检验.

2 结果

鄱阳湖 4 种鮡鱼体重与身体不同维数关系的一元对数直线回归方程、多元对数直线回归方程及一元二项式回归方程的参数值见表 3,其中蒙古鮡和达氏鮡的体重-体长体高体厚多变量对数直线回归方程经偏回归系数检验后剔除了变量体高,改为体重-体长体厚多变量对数直线回归方程. 这些对数直线回归方程经反对数转换后可得到相应的幂函数方程. 不同回归方程的 F 统计量及显著性检验、相关系数 R^2 、残差平方和见表 4. 检验个体相关数据回代回归方程得出的统计检验结果见表 5.

表 3 4 种鮡鱼体重与体维回归方程参数值

Tab. 3 Parameters of the regression equations between weight and body dimensions in the present study

回归方程	翘嘴鮡		蒙古鮡		达氏鮡		红鳍原鮡	
	a	b/b_1	a	b/b_1	a	b/b_1	a	b/b_1
	b_2	b_3	b_2	b_3	b_2	b_3	b_2	b_3
$\ln W = a + b \ln L$	-4.76749	2.93345	-4.92925	3.01561	-5.41997	3.25618	-5.29214	3.20486
$\ln W = a + b \ln D$	-2.94896	2.91530	-2.80414	2.83515	-2.96365	2.84911	-3.08987	2.96160
$\ln W = a + b \ln T$	-1.34010	2.58922	-1.51893	2.64305	-1.60778	2.71772	-1.34953	2.49887
$\ln W = a + b \ln P$	-4.18377	3.00826	-4.15673	2.98703	-4.11864	2.92072	-4.06566	2.92888
$\ln W = a + b \ln A$	-3.45855	1.41251	-3.63023	1.46170	-3.92394	1.53218	-3.80534	1.50298
$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln D + b_3 \ln T$	-2.41816	0.43530	-2.66605	0.99861	-3.06406	1.22519	-2.61974	0.69894
	0.90953	1.44936	-	1.78143	-	1.71115	0.56017	1.54348
$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln P$	-4.47613	1.04314	-4.49147	1.13579	-4.62645	1.16008	-4.42846	0.72745
	1.97968		1.88346		1.90087		2.30558	
$\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$	-2.39249	0.66260	-2.49675	0.66845	-2.70047	0.70982	-2.44512	0.63253
	1.41994		1.44376		1.47305		1.49465	
$W = a + b_1 L + b_2 L^2$	59.78543	-1.09718	58.34959	-1.13300	126.6927	-2.0646	185.9516	-2.8099
	0.00650		0.00685		0.0102		0.0125	
$W = a + b_1 D + b_2 D^2$	2.07778	-1.77791	38.58844	-3.29765	31.39656	-2.73184	26.91695	-2.92582
	0.07989		0.09310		0.07356		0.08434	
$W = a + b_1 T + b_2 T^2$	14.23033	-4.61351	58.42002	-9.09063	79.1228	-11.2835	148.6363	-16.0785
	0.47679		0.51101		0.5738		0.6181	

表4 不同回归方程的 F 统计量及显著性检验、相关系数 R^2 、残差平方和
 Tab.4 F -statistics and P -tests, R -squares, Sum of residual squares
 of the various regression equations in the present study

回归方程	翘嘴鲌		蒙古鲌		达氏鲌		红鳍原鲌	
	F	P -检验	F	P -检验	F	P -检验	F	P -检验
	R^2	残差平方和	R^2	残差平方和	R^2	残差平方和	R^2	残差平方和
$\ln W = a + b \ln L$	3182.131	$P < 0.01$	4610.438	$P < 0.01$	2832.333	$P < 0.01$	1639.329	$P < 0.01$
	0.96717	0.76133	0.98462	0.18847	0.97824	0.17593	0.93605	0.62823
$\ln W = a + b \ln D$	3363.508	$P < 0.01$	4908.335	$P < 0.01$	1989.764	$P < 0.01$	1830.737	$P < 0.01$
	0.96889	0.72155	0.98554	0.17720	0.96931	0.24814	0.94235	0.56634
$\ln W = a + b \ln T$	4931.164	$P < 0.01$	9577.891	$P < 0.01$	4001.580	$P < 0.01$	3925.464	$P < 0.01$
	0.97857	0.49708	0.99254	0.09145	0.98450	0.12532	0.97250	0.26441
$\ln W = a + b \ln P$	7076.578	$P < 0.01$	9318.935	$P < 0.01$	4873.094	$P < 0.01$	5606.286	$P < 0.01$
	0.98497	0.34865	0.99233	0.09398	0.98724	0.10319	0.98041	0.19241
$\ln W = a + b \ln A$	3909.058	$P < 0.01$	8178.108	$P < 0.01$	3610.527	$P < 0.01$	2417.406	$P < 0.01$
	0.97311	0.62356	0.99127	0.10697	0.98285	0.13866	0.95572	0.43498
$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln D + b_3 \ln T$	5460.463	$P < 0.01$	7108.745	$P < 0.01$	2540.161	$P < 0.01$	2535.821	$P < 0.01$
	0.99357	0.14911	0.99503	0.06091	0.98794	0.09748	0.98587	0.13582
$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln P$	6735.960	$P < 0.01$	10278.53	$P < 0.01$	3427.381	$P < 0.01$	3465.895	$P < 0.01$
	0.99212	0.18276	0.99656	0.04219	0.99104	0.07248	0.98424	0.15483
$\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$	7736.742	$P < 0.01$	7839.881	$P < 0.01$	2773.433	$P < 0.01$	4128.423	$P < 0.01$
	0.99207	0.15928	0.99620	0.05525	0.98951	0.08938	0.98685	0.12641
$W = a + b_1 L + b_2 L^2$	743.165	$P < 0.01$	2468.247	$P < 0.01$	870.702	$P < 0.01$	1131.127	$P < 0.01$
	0.93285	105042	0.98582	9149.7	0.96562	25674.4	0.95323	29020.6
$W = a + b_1 D + b_2 D^2$	867.333	$P < 0.01$	1007.930	$P < 0.01$	1140.410	$P < 0.01$	1273.307	$P < 0.01$
	0.94190	90878	0.96598	21955.0	0.97354	19763.1	0.95823	25915.5
$W = a + b_1 T + b_2 T^2$	1022.934	$P < 0.01$	2114.971	$P < 0.01$	1519.148	$P < 0.01$	1359.275	$P < 0.01$
	0.95030	77741	0.98349	10652.8	0.98000	14934.5	0.96077	24340.7

3 讨论

在鱼类生长的理论和应用研究中,通常用数学公式来描述鱼类的体重与身体维数之间的关系,以便推算已知维数数值的个体的未知体重. 目前,广泛运用于鱼类生长研究的公式是:

$$W = aL^b$$

从鱼类生长的动态过程分析,该公式表示在鱼类生长过程中,以个体体长增长的测量值预测其体重的增长. a 值是条件因子,常用作鱼类健康指数,与鱼类环境状况的差异相关,如水温、季节、食物丰度等, b 值

具相对同一性^[3-5]. 应用此数学方程进行不同水体鲌鱼生长的相关研究已有一些报道,它们的体重-体长回归方程的参数值见表6. 可以看出,鲌鱼的体重-体长回归方程的幂值约等于3(除太湖翘嘴鲌种群雌性个体明显地小于3外),这与本研究的结果相同,说明鲌鱼的整体生长可看作是等距生长. 鄱阳湖鲌鱼体重-体长幂函数关系如下:

$$\text{翘嘴鲌: } W = 1.70809 \times 10^{-5} L^{2.93345}$$

表5 不同回归方程估算4种鲌鱼个体体重的相对误差的频率
Tab.5 Frequency distribution of relative errors of individual weights estimated by the various regression equations in the present study

物种	回归方程	不同相对误差范围的个体频率(%)						
		0.0 - 5.0	5.1 - 10.0	10.1 - 15.0	15.1 - 20.0	20.1 - 25.0	25.1 - 30.0	> 30.0
翘嘴鲌	$\ln W = a + b \ln L$	46.87	34.38	12.50	6.25			
	$\ln W = a + b \ln D$	90.62	9.38					
	$\ln W = a + b \ln T$	56.25	34.38	6.25	3.12			
	$\ln W = a + b \ln P$	65.62	28.13	6.25				
	$\ln W = a + b \ln A$	62.50	31.25	6.25				
	$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln D + b_3 \ln T$	65.62	34.38					
	$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln P$	93.75	6.25					
	$\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$	65.62	34.38					
	$W = a + b_1 L + b_2 L^2$		6.25	6.25	6.25	18.75	28.12	34.38
	$W = a + b_1 D + b_2 D^2$	15.62	43.75	9.38	15.62	9.38		6.25
$W = a + b_1 T + b_2 T^2$	3.12	15.63	18.75	12.50	12.50	18.75	18.75	
蒙古鲌	$\ln W = a + b \ln L$	100.00						
	$\ln W = a + b \ln D$	100.00						
	$\ln W = a + b \ln T$	85.71	14.29					
	$\ln W = a + b \ln P$	100.00						
	$\ln W = a + b \ln A$	100.00						
	$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln D + b_3 \ln T$	92.86	7.14					
	$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln P$	100.00						
	$\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$	100.00						
	$W = a + b_1 L + b_2 L^2$	50.00	14.29	21.43	7.14	7.14		
	$W = a + b_1 D + b_2 D^2$	28.57	28.57	14.29	21.43	7.14		
$W = a + b_1 T + b_2 T^2$	7.14		28.57	7.14	42.87	7.14	7.14	
达氏鲌	$\ln W = a + b \ln L$	95.45		4.55				
	$\ln W = a + b \ln D$	77.27	18.18	4.55				
	$\ln W = a + b \ln T$	90.90	4.55	4.55				
	$\ln W = a + b \ln P$	90.91	9.09					
	$\ln W = a + b \ln A$	95.45		4.55				
	$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln D + b_3 \ln T$	90.90	4.55	4.55				
	$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln P$	95.45	4.55					

续表 5

	$\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$	90.90	4.55	4.55				
	$W = a + b_1 L + b_2 L^2$	18.18	27.27	18.18	9.09	13.64	9.09	4.55
	$W = a + b_1 D + b_2 D^2$	9.09	22.71	13.64	13.64	13.64	13.64	13.64
	$W = a + b_1 T + b_2 T^2$	36.36	22.72	27.27	4.55		4.55	4.55
红鳍原鲌	$\ln W = a + b \ln L$	94.12	5.88					
	$\ln W = a + b \ln D$	94.12	5.88					
	$\ln W = a + b \ln T$	82.36	11.76			5.88		
	$\ln W = a + b \ln P$	70.59	23.53	5.88				
	$\ln W = a + b \ln A$	94.12	5.88					
	$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln D + b_3 \ln T$	94.12		5.88				
	$\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln P$	88.24	5.88	5.88				
	$\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$	94.12		5.88				
	$W = a + b_1 L + b_2 L^2$	17.66	23.53	29.41	11.76	5.88		11.76
	$W = a + b_1 D + b_2 D^2$	17.66	23.53	11.76	11.76	5.88	17.66	11.75
	$W = a + b_1 T + b_2 T^2$		23.53		5.88	5.88	11.76	52.94

表 6 不同种群鲌鱼体重 - 体长关系的参数值

Tab. 6 Values of parameter in various populations of *Culter* and *Culterichthys*

种类	种群	参数值			资料来源
		<i>a</i>	<i>b</i>	♂ / ♀	
翘嘴鲌	东湖	4.3×10^{-3}	3.07		朱志荣等 ^[6]
		8.79×10^{-2}	2.3869	♀	
	太湖	7.0×10^{-3}	3.0751	♂	许品诚 ^[7]
		5.6867×10^{-5}	2.7027		
	老江河水库	8.3727×10^{-6}	3.0281		路福泉 ^[8]
	丹江口水库	4.89×10^{-2}	2.7274		张家波 ^[9]
	南湾水库	4.89×10^{-2}	2.7274		冯建新等 ^[10]
兴凯湖		2.8×10^{-3}	3.4	♀	战培荣等 ^[11]
		7.1×10^{-3}	3.1	♂	
蒙古鲌	东湖	4.6×10^{-3}	3.12		朱志荣等
	汉江	5.62×10^{-5}	2.86362		邓中舜等 ^[12]
	老江河水库	7.998×10^{-6}	3.0712		路福泉
	丹江口水库	8.1715×10^{-6}	3.0696		张家波
达氏鲌	网湖	1.7424×10^{-2}	2.9469		谢从新等 ^[13]
		3.360×10^{-3}	3.4402	♀	
	道观河水库	3.965×10^{-3}	3.3802	♂	马徐发 ^①
拟尖头鲌	汉江	3.87×10^{-5}	2.92789		邓中舜等

蒙古鲌: $W = 1.17693 \times 10^{-5} L^{3.01561}$

达氏鲌: $W = 3.80216 \times 10^{-6} L^{3.25618}$

红鳍原鲌: $W = 5.10340 \times 10^{-6} L^{3.20486}$

① 马徐发, 道观河水库渔业资源、环境和生态学管理的研究(博士学位论文). 武汉: 华中农业大学, 2003.

1920年 Pearl R. 和 Reed L. J. [14] 提出用二次方程描述鱼类生长,但因计算较繁琐,在实际生产、管理中运用较少. Bangxi X. [15] 对我国 31 种主要养殖鱼类(按体形的差异分为 14 类)8 种生长方程拟合比较得出,一元二次表达式较适合于对鱼类生长的描述.

对鄱阳湖 4 种鲌鱼种群进行各回归方程的 F 统计检验,结果表明它们的回归关系极显著,相关系数 R^2 最小值是 0.93285,表明这些回归方程的拟合度是比较高的. 在 4 种鲌鱼中,多元对数回归方程的残差平方和均明显低于其一元对数回归方程的残差平方和. 从另一批次研究材料不同个体体维数值回代相关回归方程,所得的体重估算值与实际体重的相对误差的个体分布频率可知,多元对数回归方程与一元对数回归方程估算的误差均较小,但多元对数回归方程估算的误差小于一元对数回归方程估算的误差. 因此,作者认为多元对数回归方程优于一元对数回归方程,这与华元渝和阮景荣 [16] 研究的结果相同. 在本研究中,一元二次回归方程估算的误差较大,我们认为运用一元二次方程反应鄱阳湖鲌鱼体重与体维关系是不适宜的. 在红鳍原鲌各回归方程估算误差较大可能与此批次估算个体体重(均值为 40.04 g)明显小于拟合个体(均值为 98.20 g)有关.

在进行多元回归分析时, $\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln D + b_3 \ln T$ 、 $\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln P$ 和 $\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$ 三种回归方程是以 $W = \rho V$ 公式为基础,能较全面反映鱼类体积的三维数值. 对三种回归方程研究分析,它们的残差平方和差异较小,但我们认为,运用计算机图形图像分析软件测量的鱼体侧面积值较好地体现了鱼类体形的二维数值,比运用传统的体长、体高值更真实地反映对体重的综合影响, $\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$ 方程与黄真理 [17] 推导的三维欧氏空间中复杂曲面围成的封闭几何体的体积-表面积关系公式 $V = K_1 S^{3/2}$ 相吻合. 从生物学意义分析,鱼类体重受到环境因素的影响,体厚也与个体的生长条件有关,反应了鱼体的饱满度,而体长受环境条件的影响较小. 因此, $\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$ 可以作为描述鱼类形态的基本关系,该回归方程表示在鱼类生长过程中,以个体侧面积及体厚增长的测量值预测其体重的增加,回归方程中侧面积指数 b_1 的 2 倍与体厚指数 b_2 的和应具有相对同一性,与鱼类生长特性有关. 但值得注意的是,该回归方程中,侧面积可以运用计算机图形图像分析软件进行较精确的测量,而对鱼类体厚的测量可能带来一定的误差,影响对体重的估算. 本研究表明,鄱阳湖鲌鱼体重-侧面积体厚之间的幂函数关系如下:

$$\begin{aligned} \text{翘嘴鲌: } W &= 4.05051 \times 10^{-3} A^{0.66260} T^{1.41994}; & \text{蒙古鲌: } W &= 3.18603 \times 10^{-3} A^{0.66845} T^{1.44376}; \\ \text{达氏鲌: } W &= 1.99310 \times 10^{-3} A^{0.70982} T^{1.47305}; & \text{红鳍原鲌: } W &= 3.58823 \times 10^{-3} A^{0.63253} T^{1.49465} \end{aligned}$$

从鱼类体形分析,不同体形的鱼类须采用不同的体维来对其体积运用不同的数学公式进行描述. 我们认为,在反应体重与体维关系时, $\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln P$ 和 $\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$ 等回归方程适用于不同体形的种类. 体形呈侧扁形的种类,如鳊鲌鱼类,采用 $\ln W = a + b_1 \ln A + b_2 \ln T$ 公式较适宜;体形呈平扁形的种类,如鲢鳙类,采用体重与体背面积和体高的关系式较适宜;体形呈棍棒形的种类,如黄鳍、鳊鲌等,采用 $\ln W = a + b_1 \ln L + b_2 \ln P$ 公式可能更适宜.

4 参考文献

- [1] 陈宜瑜. 中国动物志. 硬骨鱼纲. 鲤形目(中卷). 北京:科学出版社,1998:182-197.
- [2] 钱新娥,黄春根,王亚民等. 鄱阳湖渔业资源现状及其环境监测. 水生生物学报,2002, 26(6): 612-617.
- [3] Dean G F, Jeffrey W N, Thomas N T *et al.* Application of truss analysis for the quantification of changes in fish condition. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 2002, 9: 115-125.
- [4] Emili G B and Ramon M A. Multivariate analysis of covariance in morphometric studies of the reproductive cycle. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1993, 50: 1394-1399.
- [5] Franz S and Walter H. Growth, morphometrics, size at maturity, sexual dimorphism and condition index of *Austroptamobius torrentium* Schrank. *Hydrobiologia*, 2002, 477: 201-208.
- [6] 朱志荣,林永泰,方榕乐. 武昌东湖蒙古红鲌和翘嘴红鲌的食性及种群控制问题的研究. 水生生物学集刊,1976, 6(1): 36-52.

- [7] 许品诚. 太湖翘嘴红鲌的生物学及其增殖问题的探讨. 水产学报, 1984, **8**(4): 275 - 286.
- [8] 路福泉. 老江河蒙古红鲌和翘嘴红鲌的生长. 水利渔业, 1995, **15**(1): 29 - 33.
- [9] 张家波. 丹江口水库凶猛鱼集团生长特性组型的聚类分析. 水生生物学报, 1999, **23**(6): 689 - 695.
- [10] 冯建新, 常东州, 惠 筠等. 南湾水库翘嘴红鲌的生长及种群控制的研究. 水利渔业, 2003, **23**(6): 26 - 27.
- [11] 战培荣, 赵吉伟, 董崇智等. 兴凯湖翘嘴鲌 (*Culter albarnus*) 的生长特性. 海洋与湖沼, 2005, **36**(2): 146 - 150.
- [12] 邓中彝, 余志堂, 许蕴珩等. 汉江主要经济鱼类的年龄和生长. 鱼类学论文集 (第一辑), 北京: 科学出版社, 1981: 97 - 112.
- [13] 谢从新, 程文平, 陈敬德. 网湖三种鱼类的生长. 水利渔业, 1995, **15**(4): 13 - 15.
- [14] Pearl R and Reed L J. On the rate of growth of the population of the United States since 1870 and its mathematic representation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1920, **6**: 275 - 288.
- [15] Bangxi X, Xufa M, Weimin W *et al.* Selecting and fitting on expressive growth equations for different body shapes of fishes. *Asian Fisheries Science*, 2001, **14**: 17 - 23.
- [16] 华元渝, 阮景荣. 鱼类的重量 - 身体维数关系的研究. 水生生物学集刊, 1983, **8**(1): 45 - 61.
- [17] 黄真理, 常剑波. 鱼类体长与体重关系中的分形特征. 水生生物学报, 1999, **23**(4): 330 - 335.