

长江老江河国家级四大家鱼原种场 鲢的生长特征

于红霞 唐文乔* 李思发

(上海海洋大学鱼类研究室 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室 上海 201306)

摘要: 鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 是我国传统食用鱼,也是国际上养殖产量最高的鱼种。长江是鲢生产的摇篮和优质基因库。本文分析了2008年1月及12月采自湖北监利县老江河国家级四大家鱼原种场151尾鲢样本的年龄和生长特征,结果显示,体长(L)与鳞长(R)呈直线关系 $L = 205.96R - 6.3740$ ($r = 0.9486$),体重(W)与体长呈幂函数关系 $W = 0.0234L^{2.9411}$ ($r = 0.9955$),生长规律可用 Von Bertalanffy 方程 $L_t = 93.77[1 - e^{-0.2087(t-0.0311)}]$ 和 $W_t = 19293.35[1 - e^{-0.2087(t-0.0311)}]^{2.9411}$ 表达。群体的生长拐点位于 $t_i = 5.14$,拐点体长 $L_r = 61.47$ cm,拐点体重 $W_r = 5570.85$ g。分析表明,渐近体长、渐近体重及拐点年龄等参数,老江河鲢的比20世纪80年代中期天鹅洲和90年代初湖口地区鲢的要低,生长参数发生了一些变化。

关键词: 鲢;生长特征;老江河;河流遗迹湖;长江中游

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2009)02-25-07

Growth Character of Silver Carp at National Original Breeding Farm in Lake Laojianghe, Middle Reaches of the Yangtze River

YU Hong-Xia TANG Wen-Qiao* LI Si-Fa

(Laboratory of Fishes, Shanghai Ocean University, Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

Abstract: Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) is a traditional edible fish in China with the highest yield cultured. Yangtze River is served as an excellent resource for fish production and gene pool conservation of silver carp. This paper analyzed the age and growth characters from 151 silver carp samples collected from January 2008 and December at the National Original Breeding Farm (NOBF) located in Jianli County, Hubei Province (29°35'N, 113°00'E) in which the four major Chinese Carps are cultured. The result indicated that the linear relation between body length (L) and scale length (R) was $L = 205.96R - 6.3740$ ($n = 151, r = 0.9486$) and the function relationship between body length and body weight (W) was $W = 0.0234L^{2.9411}$ ($n = 151, r = 0.9955$). Moreover, the growth model could be described by Von Bertalanffy equation as $L_t = 93.77[1 - e^{-0.2087(t-0.0311)}]$ and $W_t = 19293.35[1 - e^{-0.2087(t-0.0311)}]^{2.9411}$. The growth inflexion was $t_i = 5.14$ years as the inflexion point of body length and body weight was $L_r = 61.47$ cm and $W_r = 5570.85$ g, respectively. The value of growth parameters we got in this study, such as

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30630051),教育部博士学科点基金项目(No. B-8201-08-0234)及上海市重点学科水生生物学建设项目(No. J50701);

* 通讯作者, E-mail: wqtang@shfu.edu.cn;

第一作者介绍 于红霞,女,硕士研究生;研究方向:鱼类学;E-mail: yuhongxia2002@163.com。

收稿日期: 2008-09-30, **修回日期:** 2008-12-17

progressive body length, progressive body weight and age of inflecting point, have become smaller compared with the silver carp sampled in the Tian-e-zhou National Reserve in the middle of 1980s and Hukou area in 1990s.

Key words: *Hypophthalmichthys molitrix*; Growth character; Laojianghe; Ancient riverway; Middle reaches of Yangtze River

老江河位于湖北省监利县,是长江荆江段下游北岸的一个中型草-藻型湖泊,亦是典型的河流遗迹湖,自然形成于1901年。1958年在老江河故道的上、下口筑堤建闸与长江隔断后,形成了长22.5 km、宽1.1 km的狭长马蹄形湖泊,岸线长49.4 km,周围无工厂和工业污染。正常水位27.5 m时,面积1 840 hm²,最大水深19 m,平均水深6 m^[1]。年均降雨量1 226 mm,降水134 d,日照2 004 h。1991年农业部在此建立“长江水系四大家鱼种质资源天然生态库”,每年5~6月发苗季节,从附近长江捞取“江花”,在泥池中培育成鱼种,年底投入老江河水体后不再投饵。利用老江河与长江水体的生态相似性,在群体水平上保护四大家鱼种质资源^[2]。

鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)自然分布于我国北起黑龙江,南至元江的各大、中型水系,为大型浮游生物食性鱼类,是我国特产的传统食用鱼。唐代以后一直是我国淡水养殖的当家种类,同青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)和鳙(*Aristichthys nobilis*)一起俗称“四大家鱼”,并被引入世界许多国家^[3]。2005年鲢的养殖产量达346.7万吨,是我国成为世界头号水产养殖大国的关键鱼种,也是国际上养殖产量占第一位的鱼种*。

长江是鲢生产的摇篮和最优质基因库^[3]。20世纪50年代以来,长江鲢的生物学特征及资源状况受到许多专家的高度重视^[4-8]。但近30年来,由于过度捕捞、水域污染和水利工程建设等因素,导致鲢的天然资源遭严重破坏。20世纪60年代初期后的大量人工繁殖,也造成了人工繁殖群体与天然群体间的交叉混杂及对天然基因库的干扰^[9,10],监测长江鲢生物学特征和遗传变迁已成为保护与可持续利用这一宝贵物种资源的重要课题。本文试图通过对老江河鲢年龄与生长规律的综合分析,并与历史

资料进行比较,了解长江鲢生长特征的变迁状况。

1 材料与方法

1.1 材料 样本于2008年1月及12月采自湖北监利县长江水系老江河国家级四大家鱼原种场(29°35'N, 113°00'E)。当年鱼种用围网随机采自场内6.7 hm²大小的苗种培育池,共51尾。其他标本用大型围网在老江河中围网捕集,随机收集不同体长标本100尾。就地测量体长(精确至1 cm),称取体重(精确至1 g),自背鳍后下方至侧线上方之间取10~20枚完好鳞片,在鳞片袋中保存作为年龄鉴定材料。

1.2 方法

1.2.1 鳞片测量及年龄鉴定 将鳞片浸入清水1~2 h,擦去附在鳞片上的污物,清水冲洗后拭干,夹入两载玻片中。在台式投影仪上放大20倍或50倍观察鳞片结构,年轮确认及计数采用常规方法^[11]。每尾标本选取5~10枚形状规则、轮纹清晰的鳞片作为鳞片测量材料,选鳞焦到鳞片前区最长的部分作为鳞径长度,鳞径与轮径在同一条直线上测量。

1.2.2 相关计算 相关计算方法依股名称^[11],包括:(1)根据 $W = aL^b$ 计算体长和体重的相关关系, W 为体重(g), L 为实测体长(cm), a 、 b 为常数;(2)依照 $L = a + bR$ 拟合体长与鳞径关系, a 、 b 为常数, L 为退算体长(cm), R 为鳞径(cm);(3)根据 $Ln = a + bRm$ 退算体长, a 、 b 为常数, Ln 是 n 年的退算体长, m 为中心核到 n 年轮的距离(cm);(4)计算Von Bertalanffy生长方程: $L_t = L [1 - e^{-k(t-t_0)}]$, $W_t = W [1 -$

* Schofield P J, Williams J D, Nico L D, et al. Foreign Nonindigenous Carps and Minnows (Cyprinidae) in the United States: A Guide to their Identification, Distribution, and Biology. USGS Scientific Investigations Report 2005-5041, Denver, US, 2005.

$e^{-k(t-t_0)}]^b$, t 为年龄, L_t 和 W_t 为 t 龄时的平均体长和体重, L 和 W 是平均渐近体长和体重, k 为生长系数, t_0 是理论生长起点的年龄, b 即上述体长与体重关系式 $W = aL^b$ 。用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 统计软件对相关结果进行分析, 绘制曲线。

2 结果与分析

2.1 年轮特征与年龄组成

鲢的鳞片薄而细小。不同部位的鳞片形状有差异, 主要有圆形、椭圆形等。埋入皮内的部位为前区, 裸露于皮外的部分为侧区和后区。鳞片没有辐射沟, 鳞

焦多接近于鳞片中心, 也有偏于前区或后区的。年轮在鳞片上主要表现为闭合切割型, 即当年形成的“O”型环片与翌年形成的“U”型环片在后侧区相切割。有些切割呈现连续的过程, 有时也伴随着其他的一些特征, 如环纹断裂、聚合等。除了后侧区的切割现象, 在前区和侧区也有明显的疏密现象。有些个体有幼轮存在, 幼轮内侧环片排列紧密, 外侧排列疏松。

所分析的 151 尾样品体长在 13 ~ 69 cm 之间, 体重为 40 ~ 4 900 g, 包含了 0^+ ~ 4^+ 五个年龄组(表 1)。最大体长年生长在 0^+ ~ 1^+ 之间, 最大体重年增长在 1^+ ~ 2^+ 间。

表 1 老江河鲢的生长数据

Table 1 Growth measurement on *Hypophthalmichthys molitrix* in Lake Laojianghe

龄组 Age group	样品数 No. of fish	实测体长 Observed body length (cm)			实测体重 Observed body weight (g)		
		幅度 Range	均长 Mean ±SD	年增长 Annul gain in length	幅度 Range	均重 Mean ±SD	年增重 Annul gain in weight
		0^+	51	13 ~ 22	18.63 ±2.48	-	40 ~ 206
1^+	21	34 ~ 48	41.55 ±3.86	22.92	730 ~ 1 705	1 198.50 ±275.61	1 062.50
2^+	25	36 ~ 58	48.88 ±6.73	7.33	940 ~ 3 586	2 310.00 ±861.55	1 111.50
3^+	42	46 ~ 61	54.64 ±3.45	5.76	1 190 ~ 4 900	3 158.95 ±544.55	848.95
4^+	12	54 ~ 69	58.42 ±4.52	3.78	3 012 ~ 4 588	3 732.33 ±688.98	573.38

2.2 生长分析

2.2.1 体长与体重的关系

以实测体长为横坐标, 体重为纵坐标, 绘制体重与体长的点构图(图 1)。相关分析表明, 体重与体长呈显著的幂函数相关, 拟合出幂函数曲线回归方程为: $W = 0.023 4L^{2.941 1}$ ($n = 151, r = 0.995 5$)。指数 $b = 2.941 1$ 接近于 3, 表明鲢的体长、体高和体宽

生长匀速。

2.2.2 体长-鳞径关系

鳞片随体长增加而增大, 鳞径与体长有密切关系。各年龄组的体长与鳞径实测值见表 2, 经点图分析可以看出, 鲢的体长与鳞径呈显著线性关系(图 2)。用最小二乘法求出 a 和 b , 拟合得到的直线回归方程为 $L = 205.96R - 6.374$ ($n = 151, r = 0.948 6$)。

表 2 老江河鲢的体长和鳞径

Table 2 Scale length and body length of *Hypophthalmichthys molitrix* in Lake Laojianghe

龄组 Age group	标本数 No. of fish	鳞长 Scale length (cm)		体长 Body length (cm)	
		幅度 Range	均长 Mean ±SD	幅度 Range	均长 Mean ±SD
0^+	51	0.086 ~ 0.162	0.130 ±0.212	13 ~ 22	18.63 ±2.48
1^+	21	0.177 ~ 0.283	0.239 ±0.030	34 ~ 48	41.55 ±3.86
2^+	25	0.202 ~ 0.307	0.254 ±0.035	36 ~ 58	48.88 ±6.73
3^+	42	0.221 ~ 0.332	0.290 ±0.024	46 ~ 61	54.64 ±3.45
4^+	12	0.301 ~ 0.343	0.321 ±0.015	54 ~ 69	58.42 ±4.52

表 3 老江河鲢的实测体长与推算体长

Table 3 Observed body length and back calculated body length of Hypophthalmichthys molitrix in Lake Laojianghe

龄组 Age group	样品数 No. of fish	实测体长 (cm) Observed body length	推算体长 (cm) Back calculated body length			
			L1	L2	L3	L4
1 ⁺	21	41.55	18.13			
2 ⁺	25	48.88	18.10	35.17		
3 ⁺	42	54.64	17.94	33.46	46.25	
4 ⁺	12	58.42	18.11	29.00	41.68	53.44
平均值 Average standard length		50.87	18.11	32.63	44.79	53.44

L1、L2、L3、L4 分别表示 1、2、3、4 龄的推算体长。

L1, L2, L3, L4 stand for the back calculated body length, respectively.

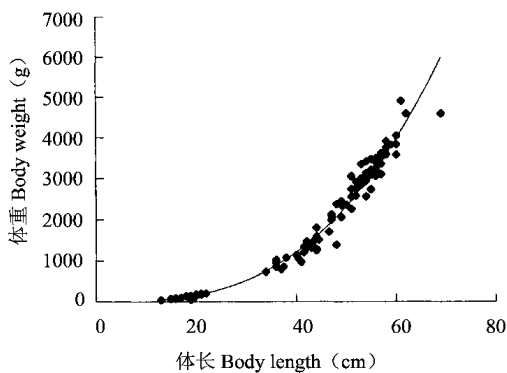


图 1 老江河鲢的体长与体重关系

Fig.1 Relationship between body weight and body length of Hypophthalmichthys molitrix in Lake Laojianghe

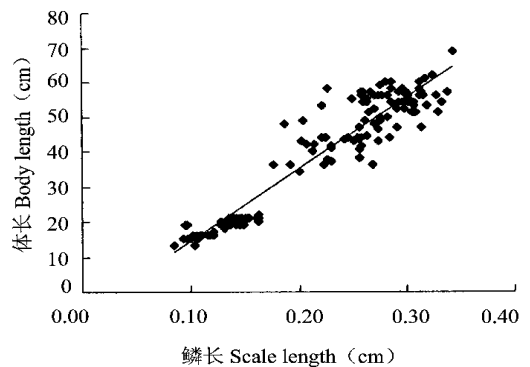


图 2 老江河鲢的鳞长与体长关系

Fig.2 Relationship between Scale length and Body length of Hypophthalmichthys molitrix in Lake Laojianghe

2.2.3 各年龄组的体长推算 根据前面体长与鳞径、体长与体重回归关系式推算得到的各年龄组理论体长见表 3。虽然 1⁺ ~ 4⁺ 龄的推算体长比相应的实测平均体长要小一些,但两者配对检验得出的 $P = 0.948 > 0.05$,即两者没有差异,表明 $L = 205.96R - 6.374$ 表示鳞长与体长关系是恰当的。

2.2.4 生长参数与生长方程 由于实测体长与体重方程的回归系数 b 接近于 3,故可用表达式 $L_t = L [1 - e^{-k(t-t_0)}]$, $W_t = W [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b$ 的 Von Bertalanffy 生长方程描述其生长规律。根据表 3 推算的各龄平均体长,用最小二乘法和生长性能指数方程求得 $L = 93.77$ cm, $k = 0.2087$, $t_0 = 0.0311$ 年,由体长与体重

关系式求得 $W = 19293.35$ g。将上述参数代入 Von Bertalanffy 方程,得到体长、体重的生长方程分别为:

$$L_t = 93.77 [1 - e^{-0.2087(t - 0.0311)}],$$

$$W_t = 19293.35 [1 - e^{-0.2087(t - 0.0311)}]^{2.9411}$$

($n = 151$)。

根据上述生长方程绘制出的体长和体重生长曲线见图 3 和图 4。可见,体长生长为一条不具拐点的曲线,早期上升较快,随着年龄的增加而逐渐减慢,并逐渐趋向渐近体长 93.77 cm。体重生长为一条不对称的 S 型具有拐点的曲线,随年龄增加由慢到快再减慢,并趋向渐近体重 19293.35 g。

2.2.5 生长速度和加速度 上述方程反映了

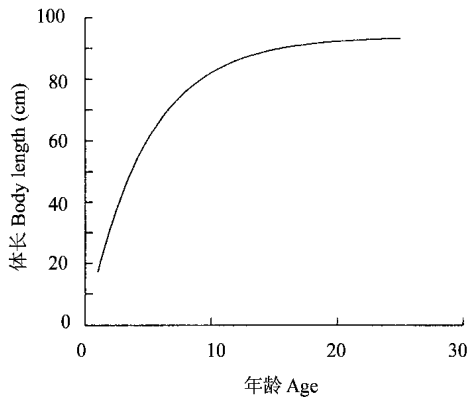


图 3 老江河鲢的体长生长曲线

Fig. 3 Growth curve of *Hypophthalmichthys molitrix* in Lake Laojianghe in body length

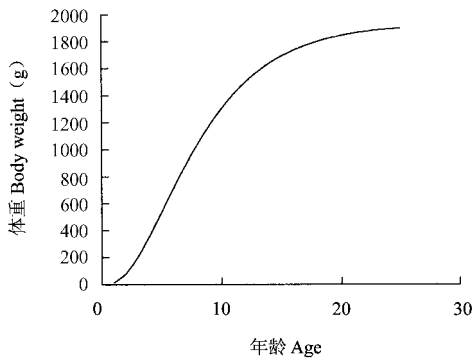


图 4 老江河鲢的体重生长曲线

Fig. 4 Growth curve of *Hypophthalmichthys molitrix* in Lake Laojianghe in body weight

鲢生长过程中的总和,为了探讨各龄生长过程的变化特征,应进一步通过生长速度和加速度方程进行分析。用体长、体重生长方程对 t 求一阶、二阶导数,得到的体长、体重生长速度和加速度方程分别为: $dL/dt = 19.57 e^{-0.2087(t-0.0311)} [1 - e^{-0.2087(t-0.0311)}]^{1.9411}$ 、 $d^2L/dt^2 = -4.08 e^{-0.2087(t-0.0311)} [1 - e^{-0.2087(t-0.0311)}]^{0.9411} (2.9594 e^{-0.2087(t-0.0311)} - 1)$ ($n = 151$)。

根据上述 4 个方程作出的生长速度、加速度曲线见图 5 和图 6。可见,鲢的体长生长速度和加速度均不具拐点(图 5),生长速度随年

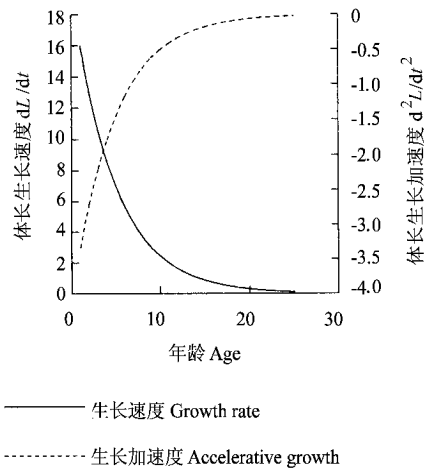


图 5 老江河鲢体长生长加速度和生长速度曲线
Fig. 5 Growth rate and accelerative growth curve of body length of *Hypophthalmichthys molitrix* in Lake Laojianghe

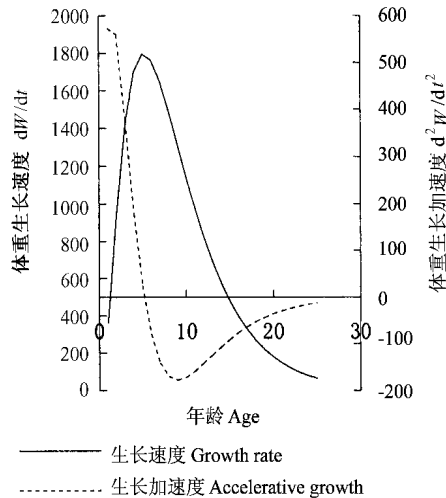


图 6 老江河鲢的体重生长加速度和生长速度曲线
Fig. 6 Growth rate and acceleration growth rate curve of body weight of *Hypophthalmichthys molitrix* in Lake Laojianghe

龄的增加而递减,逐渐减缓最后趋近于零;生长加速度始终为负值,并随年龄增加而增大。体重生长速度和加速度都有拐点(图 6),体重生长速度的拐点年龄 $t_1 = 5.14$,拐点体重 $W_r = 5570.85$ g,推算的拐点体长 $L_r = 61.47$ cm。拐点年龄前体重增长速度为递增阶段,但递增速度逐渐下降;5.14 龄时,体重增长速度为最大

值,但加速度为零;5.14 龄后体重增长速度逐渐下降,约 9 龄时生长加速度降至最低点。表明体重增长速度进一步下降,递减速度也渐趋减缓,个体开始进入衰老期。此后,鲢鱼的体重生长速度和加速度逐渐趋向于零,接近稳定状态。

3 讨论

鲢是我国最重要的经济鱼类之一,早在 20 世纪中期即有长江鲢生物学特征的研究报道^[12],70 年代后期邓中舜等研究了汉江鲢的资源状况和生长特征^[13],80 年代中期李思发等对

长江等水系鲢的年龄和生长进行了比较研究^[3],90 年代初研究了长江天鹅洲鲢种群的生长特征^[14]。上述研究所获得的年龄和生长结果汇总于表 4,总体来看,本研究 1、2 龄鱼体长较其他时期的同龄鱼要大一些,这可能与在泥池中培育鱼种期间的投饵有关,但 3 龄鱼体长较 50 年代末期和 60 年代初期小一些,比 70、80 年代中期和 60 年代初期略大一点;4 龄鱼体长较 90 年代初期略大但略小于其他时期。统计分析表明,本研究的鱼体长与 20 世纪 90 年代初期的同龄鱼体长有显著差异,但与 50 年代末期、70 年代中期、80 年代中期和 60 年代初期都没有差异(表 5)。

表 4 不同时期长江鲢的体长比较

Table 4 Comparison of body length for *Hypophthalmichthys molitrix* collected in different time in Yangtze River

时间 Time (Year)	地点 Place	标本数 No. of fish	实测体长 Observed body length (cm)					文献 References
			1 龄 1 year	2 龄 2 years	3 龄 3 years	4 龄 4 years	5 龄 5 years	
1959	宜昌 Yichang area	-	30.0	47.6	63.3	73.9	80.4	[12]
1963	湖口 Hukou area	-	31.0	48.5	60.1	66.3	73.0	[12]
1976 ~ 1977	汉江 Hanjiang River	57	28.1	34.1	48.0	59.9	-	[13]
1983 ~ 1987	湖口 Hukou area	793	39.7	48.3	54.4	62.1	75.9	[15]
1991 ~ 1994	天鹅洲 Tian'e-zhou National Reserve	144	28.0	34.2	44.7	53.8	-	[14]
2008	老江河 Lake Laojianghe	100	41.6	48.9	54.6	58.4	-	本研究 This study

“-”表示在文献中无记录,或在本研究材料中不存在。

“-” Means no record in the reference cited or not existed in this study.

表 5 不同时期长江鲢体长的差异性分析

Table 5 Analysis on body length for *Hypophthalmichthys molitrix* collected in different time in Yangtze River

时间 Time (Year)	1959	1963	1976 ~ 1977	1983 ~ 1987	1991 ~ 1994	2008
1959	-		*		*	
1963		-	*		*	
1976 ~ 1977	*	*	-	*		
1983 ~ 1987			*	-	**	
1991 ~ 1994	*	*		**	-	*
2008					*	-

指表 4 中相应采集时间和地点的体长数据; **代表差异极显著; *代表差异显著; 空格表示差异不显著;“-”表示相同时期的体长无需比较。

Using the data in table 4; **:Extremely significant difference; *:Significant difference; The blank cell:No obvious difference;“-”No need comparing the body length of the same period.

从体长增长速度曲线看(图 7),低龄(1~4 龄)时老江河鲢的生长速度要小于 20 世纪 80

年代中期湖口地区的鲢,大于 90 年代天鹅洲的,但随着年龄的增大逐步趋于接近。但在渐

表 6 不同时期长江鲢的生长方程参数比较

Table 6 Comparison of parameters estimated based on von Bertalanffy growth function for Hypophthalmichthys molitrix collected in different time in Yangtze River

文献 Reference	地点 Place	时间 Time (Year)	样品数 No. of fish	参数 Parameters				拐点年龄 Age of inflecting point
				L (cm)	W (g)	k	t ₀	
[15]	湖口 Hukou area	1983 ~ 1987	169	105	24 005	0.204 6	0.053	5.30
[14]	天鹅洲 Tian-e-zhou National Reserve	1991 ~ 1994	72	111	23 814	0.148 3	0.497	6.90
本研究 This study	老江河 Lake Laojianghe	2008	151	94	19 293	0.208 7	0.031 1	5.14

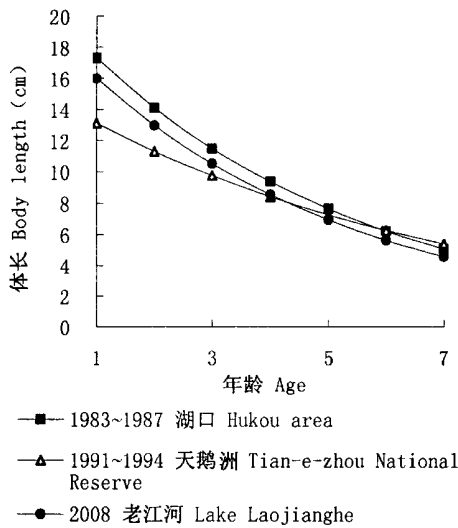


图 7 不同时期长江鲢的体长生长速度曲线
Fig.7 Growth rate curves of body length of Hypophthalmichthys molitrix collected in different time in Yangtze River

近体长、渐近体重和拐点年龄等参数上,老江河的比天鹅洲和湖口地区的均低(表 6),预示着近 20 多年来长江鲢生长性能发生了某些变化。这可能是环境差异所致,也可能是过量捕捞导致个体小型化,或大量人工繁殖个体逃逸或人工放流导致基因混杂的结果。

参 考 文 献

[1] 刘绍平,陈大庆,张家波等. 老江河故道四大家鱼天然资源库研究. 水生生物学报,2002,26(6):628 ~ 634.
[2] 张家波,樊启学,王卫民等. 老江河的鱼类资源及其合理利用. 华中农业大学学报,1997,25(增刊):6 ~ 11.

[3] 李思发,吴力钊,王强等. 长江、珠江、黑龙江鲢、鳙、草鱼种质资源研究. 上海:上海科学技术出版社,1990,28 ~ 39.
[4] 长江四大家鱼产卵场调查队. 葛洲坝水利枢纽工程截流后长江四大家鱼产卵场调查. 水产学报,1982,6(4):287 ~ 304.
[5] 余志堂. 葛洲坝水利枢纽工程截流后的长江四大家鱼产卵场. 见:中国鱼类学会编. 鱼类学论文集(第四辑). 北京:科学出版社,1985,2 ~ 5.
[6] 长江水系渔业资源调查协作组. 长江水系渔业资源. 北京:海洋出版社,1990,153 ~ 154.
[7] 邱顺林,刘绍平,黄木桂等. 长江中游江段四大家鱼资源调查. 水生生物学报,2002,26(6):716 ~ 718.
[8] 刘绍平,邱顺林,陈大庆等. 长江水系四大家鱼种质资源的保护和合理利用. 长江流域资源与环境,1997,6(2):128 ~ 130.
[9] 刘建康,曹文宣. 长江流域的鱼类资源及其保护对策. 长江流域资源与环境,1992,1(1):17 ~ 23.
[10] 曹文宣. 长江流域水生态环境与经济可持续发展——有关长江流域鱼类资源保护的几个问题. 长江流域资源与环境,2008,17(2):163 ~ 164.
[11] 殷名称. 鱼类生态学. 北京:中国农业出版社,1995,55 ~ 63.
[12] 湖北省水生生物研究所鱼类研究室. 长江鱼类. 北京:科学出版社,1976,145 ~ 149.
[13] 邓中彝,余志堂,许蕴等. 丹江口水利枢纽兴建以后的汉江鱼类资源. 见:中国鱼类学会编. 鱼类学论文集(第一辑). 北京:科学出版社,1981,125 ~ 132.
[14] 李思发,吕国庆,周碧云. 长江天鹅洲故道“四大家鱼”种质资源天然生态库建库可行性研究. 水产学报,1995,19(3):193 ~ 202.
[15] 陈大庆,邱顺林,黄木桂等. 长江渔业资源动态监测的研究. 长江流域资源与环境,1995,4(4):303 ~ 330.