

文章编号: 1674-5566(2019)01-0049-09

DOI:10.12024/jsou.20180502316

上海市江心水库鲢、鳙年龄结构及生长特性

魏宪芸^{1,2}, 顾静³, 张名全³, 秦智杰³, 迪丽娜尔·艾尼瓦尔^{1,2}, 龚小玲^{1,2}

(1. 海洋动物系统分类与进化上海高校重点实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 3. 上海城投原水有限公司, 上海 201913)

摘要: 长江口江心水库青草沙地理位置、供排水系统特殊, 主要采用鲢、鳙为主的生物操纵技术调控水质。在 2015 年 6 月至 2017 年 5 月共采集了鲢 139 尾、鳙 59 尾, 以鳞片、脊椎骨作为鉴定年龄的材料, 并对每个样本的体长、体质量等生物学数据进行了采集, 在此基础上研究了它们各自的生长特性。结果表明: 青草沙水库鲢由 1~10 龄组成, 其中以 3~4 龄居多; 鳙由 1~11 龄组成, 其中以 2~3 龄居多。鲢、鳙体长和体质量回归方程分别为 $W = 0.0379L^{3.027}$ 和 $W = 0.0390L^{2.946}$; 鲢体长、体质量 Von Bertalanffy 生长方程分别为: $L_t = 77.73[1 - e^{-0.183(t+0.60)}]$, $W_t = 20.024.3[1 - e^{-0.183(t+0.60)}]^{3.027}$, 其中 t 代表鱼的年龄, 生长拐点年龄在 5.4 龄; 鳙的体长、体质量 Von Bertalanffy 生长方程分别为: $L_t = 92.11[1 - e^{-0.172(t+1.27)}]$, $W_t = 23.875.2[1 - e^{-0.172(t+1.27)}]^{2.946}$, 生长拐点年龄在 5.0 龄。建议青草沙水库中的鲢、鳙鱼以 5.5 龄为起捕年龄。

关键词: 青草沙水库; 鲢; 鳙; 年龄; 生长

中图分类号: S 931.1 **文献标志码:** A

青草沙水库位于上海市长兴岛上的冲积沙洲青草沙上, 是我国内地目前为止最大的江心水库^[1], 总面积近 70 km², 设计有效库容为 4.35 亿 m³, 日供水规模为 719 万 m³。青草沙水库于 2011 年启用, 作为上海最大的水源地, 占上海市原水供应总规模的 50% 以上^[2]。青草沙水库为潮汐河口避咸蓄淡水水库, 水库建成后其盐度逐年下降, 目前几乎呈淡水生境^[3]。

鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Hypophthalmichthys nobilis*) 属鲤形目, 鲤科, 鲢属, 为滤食性鱼类^[4], 主要滤食浮游植物、浮游动物, 具有控藻作用^[5], 通过放养量、规格的控制, 以及合理的捕获, 在一定程度上能对水库的水质进行有效地控制, 被认为是东湖 20 世纪 80 年代蓝藻水华消失的主要原因之一^[6]。为了维持青草沙水库的水质, 自 2011 年起青草沙水库管理部门每年冬季都会投放一定量的鲢、鳙, 同时水库管理部门还投放少量翘嘴红鲌、黄颡鱼、长春鳊

等鱼类, 但鲢、鳙在水库中占据了优势地位。本研究分析青草沙在逐渐淡化过程中鲢、鳙的生长模式, 掌握他们的生长规律, 为制定合理的捕捞规格和捕捞量, 从而进一步调节水库水质提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

2015 年 6 月至 2017 年 5 月, 在青草沙设制采样点(图 1), 采用地笼网、丝网、拖网等多种网具相结合的捕捞方式, 共捕获青草沙水库 139 尾鲢、59 尾鳙, 测量全长、体长(精确到 1 mm)、体质量(精确到 1 g), 取侧线以上、背鳍下方的鳞片 10~20 枚用于年龄鉴定^[7-8]。鉴定步骤和原理主要过程^[9]如下: 鳞片—清洗—封片—晾干—台式投影仪观察年轮, 每个个体读取鳞片数目 5 片左右, 每个鳞片重复读数 3 次以上, 确保正确。体质量超过 1.5 kg 的鲢、鳙取脊椎骨 3~5 枚, 进行

收稿日期: 2018-05-11 修回日期: 2018-06-12

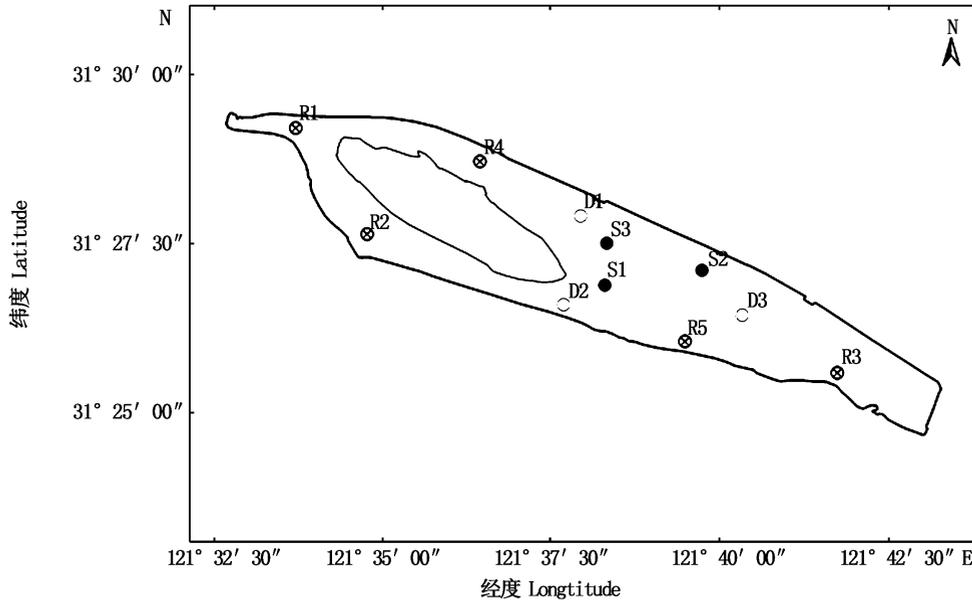
基金项目: 上海市教育委员会水产动物遗传育种中心上海市协同创新项目(ZF1206); 上海城投原水有限公司项目(D-8006-16-0086, D-8006-18-0117)

作者简介: 魏宪芸(1993—), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生态学。E-mail: 821135735@qq.com

通信作者: 龚小玲, E-mail: xlgong@shou.edu.cn

年龄鉴定。主要步骤^[10]如下:取脊椎骨—去肌肉—10%乙醇脱脂—晾干—计数年轮,每个个体统

计 3~5 枚脊椎骨,重复计数 3 次以上。



D1~D3 为地笼网采样点; S1~S3 为丝网采样点; R1~R5 为拖网采样点

D1-D3 are sampling points of the ground cage network; S1-S3 are sampling points of the trammel net; R1-R5 are sampling points of the trawl

图 1 青草沙水库调查采样点示意

Fig. 1 Sampling sites in Qingcaosha reservoir

1.2 生长数学模型及生长参数

1.2.1 体长、体质量的关系

鱼类体长和体质量之间存在一定的相关性,同种体长的鱼,体质量越大表明鱼体越丰满,营养状况和环境条件越佳。采用 Keys 公式(1)计算体长体质量的关系^[11]

$$W = aL^b \quad (1)$$

式中: W 为鱼体质量, g ; L 为鱼体长度, cm ; a 和 b 为常数。

1.2.2 生长模型的建立

由于种类、生存条件、生殖发育等方面的不同,不同种类有着不一样的生长模式,从而应该使用不同的生长模型对种群进行分析。Von Bertalanffy 生长方程(VBGF)是用来概括鱼类生长特性、使用最广范的一个数理模型,有着重要的生物学意义,同时也能计算出鱼类的极限体长、体质量。将获得的鱼类体长和对应的年龄数据应用统计软件 FISAT 2.0 进行进一步分析,推算鲢、鳙在青草沙水库的渐进体长(L_∞)和生长指数(k),拟合 Von Bertalanffy 生长方程

(VBGF)^[12-13]。VBGF 公式为

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}] \quad (2)$$

$$W_t = W_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b \quad (3)$$

式中: L_∞ 为渐进体长, W_∞ 为渐进体质量, k 为生长系数, t_0 为理论生长起点的年龄,生长参数采用最小二乘法求得,最大年龄 T_{max} 采用下列模型式计算为

$$T = \frac{3}{K} + t_0 \quad (4)$$

1.2.3 生长速度和生长加速度

通过获得生长速度和生长加速度方程,可以研究鱼类生长过程变化的特征。由 VBGF 生长参数 L_∞ 、 k 和 t_0 计算青草沙水库鲢、鳙的体长、体质量生长速度和加速度^[14]。体质量生长速度(V_{W_t})和加速度(α_{W_t})方程分别为

$$\frac{dL}{dt} = L_\infty k e^{-k(t-t_0)} \quad (5)$$

$$\frac{d^2L}{dt^2} = L_\infty k^2 e^{-k(t-t_0)} \quad (6)$$

$$\frac{dW}{dt} = bW_\infty k e^{-k(t-t_0)} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^{(b-1)} \quad (7)$$

$$\frac{d^2W}{dt^2} = bW_{\infty} k^2 e^{-k(t-t_0)} \cdot [1 - e^{-k(t-t_0)}]^{(b-2)}$$

$$[be^{-k(t-t_0)} - 1] \quad (8)$$

2 结果

采用 Excel 2007 和 FISAT 2.0 软件,对调查到的鲢、鳙的基础数据进行分析,主要对体长-体质量生长关系,年龄、体长和体质量的结构,生长方程等几个方面进行探究。

2.1 体长和体质量关系

经散点图分析和拟合(图 2 和图 3),青草沙水库鲢、鳙的拟合方程呈幂函数关系。鲢回归方程为 $W = 0.0379L^{3.027}$ ($P < 0.01, R^2 = 0.9264, n = 139$), 鳙的回归方程为 $W = 0.0390L^{2.946}$ ($P < 0.01, R^2 = 0.9876, n = 59$)。

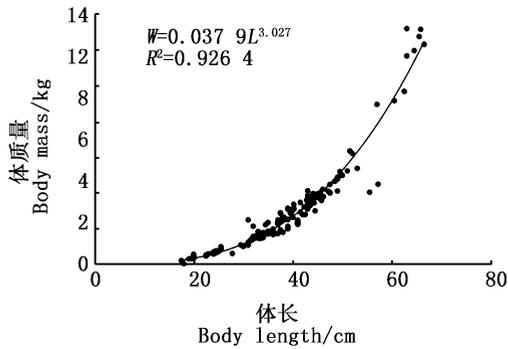


图 2 鲢体长与体质量的关系
Fig. 2 Body length-body mass relationship for *H. molitrix*

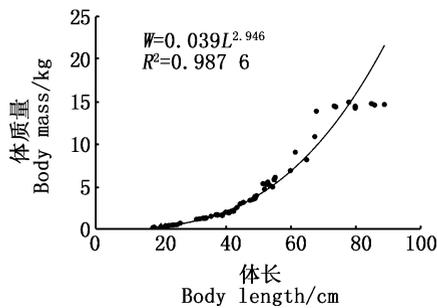


图 3 鳙体长与体质量的关系
Fig. 3 Body length-body mass relationship for *H. nobilis*

用 Pauly 的 t 检验法^[15-16] 检验体长和体质量回归方程的幂指数 b 与 3 之间的差异, 鲢的 t 值为 0.38, 鳙的 t 值为 1.23, 均小于 $t_{0.05} = 1.96$, 说明青草沙水库的鲢、鳙为等速生长^[17], 随着体长

的增长, 体质量有着累进的更快速度增长的趋势, 可采用 Von Bertalanffy 生长方程进行拟合。

2.2 鲢、鳙年龄、体长和体质量的结构

渔获物鲢, 体长区间 30 ~ 50 cm 的数量最多, 占总数量的 74.09% (图 4)。鳙, 体长 30 ~ 50 cm 的数量最多, 占总数量的 49.15% (图 5)。鲢的体长组成比鳙更符合正态分布, 鳙近似正态分布, 表明水库中鲢的种群结构更加稳定合理。

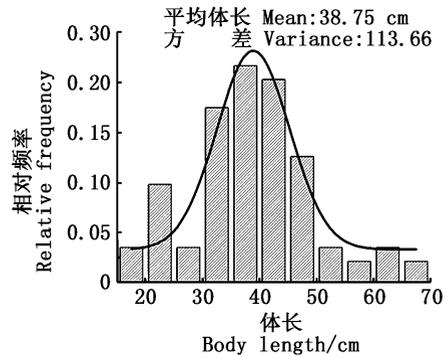


图 4 青草沙水库鲢体长分布
Fig. 4 Distribution of length of *H. molitrix* in Qingcaosha Reservoir

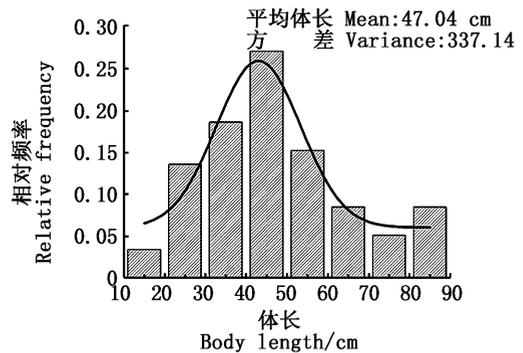


图 5 青草沙水库鳙体长分布
Fig. 5 Distribution of length of *H. nobilis* in Qingcaosha Reservoir

通过鉴定年龄^[16-17], 对年龄、体长、体质量的结构进行分析, 鲢主要由 1 ~ 10 龄鱼构成, 2 ~ 4 龄占渔获量的 78.42%, 其中 3 龄鱼个体数最多, 占 41.73% (图 6、图 7)。鲢约在 8 龄时, 体长渐进趋于缓慢增长, 约为 70 cm; 此时体质量也渐进趋于缓慢增长, 约为 12 kg。

鳙主要由 1 ~ 11 龄鱼构成, 1 ~ 3 龄鱼占鳙渔获量的 62.7%, 其中 3 龄鱼个体数最多, 占 23.73% (图 8、图 9)。鳙约在 10 龄时, 体长渐进趋于缓慢增长, 约为 80 cm; 此时体质量也渐进趋

于缓慢增长,约为 14 kg。

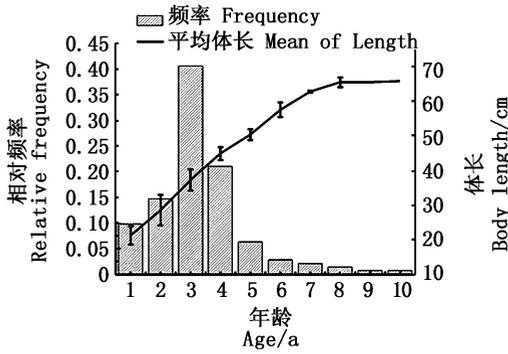


图 6 青草沙水库鲢体长与年龄分布
Fig. 6 Distribution of length and age of *H. molitrix* in Qingcaosha Reservoir

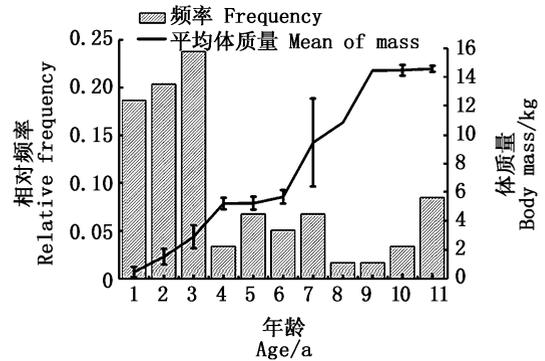


图 9 青草沙水库鲮体质量与年龄分布
Fig. 9 Distribution of mass and age of *H. nobili* in Qingcaosha Reservoir

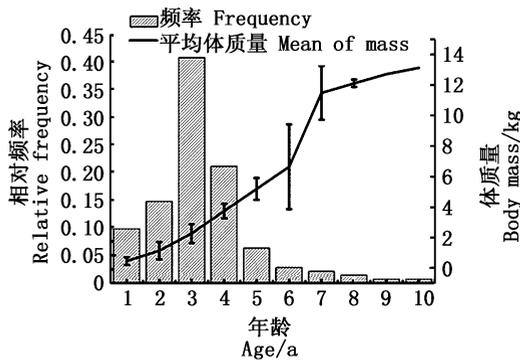


图 7 青草沙水库鲢体质量与年龄分布
Fig. 7 Distribution of mass and age of *H. molitrix* in Qingcaosha Reservoir

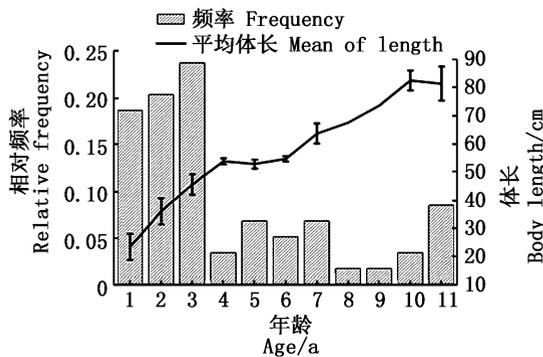


图 8 青草沙水库鲮体长与年龄分布
Fig. 8 Distribution of length and age of *H. nobili* in Qingcaosha Reservoir

2.3 生长方程

2.3.1 鲢 Von Bertalanffy 生长方程

用最小二乘法求得鲢生长方程渐近体长 $L_{\infty} = 77.73$ cm 及生长系数 $k = 0.183$, $t_0 =$

-0.60 , 进而求出鲢体长、体质量方程分别为: $L_t = 77.73[1 - e^{-0.183(t+0.60)}]$, $W_t = 20\ 024.3[1 - e^{-0.183(t+0.60)}]^{3.027}$, 其中 t 代表鱼的年龄。

用体长体质量方程对 t 求一阶、二阶导数, 得到体长、体质量的生长速度 (dL/dt , dW/dt) 和生长加速度 (d^2L/dt^2 , d^2W/dt^2) 如下:

$$dL/dt = 14.22e^{-0.183(t+0.60)}, \quad dW/dt = 11\ 092.28 e^{-0.183(t+0.60)} [1 - e^{-0.183(t+0.60)}]^{2.027}$$

$$d^2L/dt^2 = -2.60 e^{-0.183(t+0.60)}, \quad d^2W/dt^2 = 2\ 029.89 e^{-0.183(t+0.60)} [1 - e^{-0.183(t+0.60)}]^{1.027} [3.027 e^{-0.183(t+0.60)} - 1]$$

根据生长速度和生长加速度方程绘出相应的曲线。青草沙水库的鲢体长生长速度和加速度曲线(图 10c,e)显示:随着时间 t 的增大,体长生长速度 (dL/dt) (图 10c) 不断递减,体长生长加速度 d^2L/dt^2 (图 10e) 逐渐下降,为负值。表明随着体长生长速度的下降,其递减速度趋于缓慢。体质量生长速度和生长加速度曲线(图 10d,f)显示:5.4 龄前是鲢体质量生长速度递增阶段,约在 5.4 龄时,鲢的体质量生长速度达到最大,体质量生长加速度为 0,即 $t_i = (\ln b)/k + t_0 = 5.44$ (龄) 为生长速度拐点。而后体质量递增速度日趋缓慢,进入鲢体质量生长速度递减阶段,且递减速度逐渐增加,约 8 龄,鲢的生长加速度降为最低点,表明随着体质量生长速度的进一步下降,其递减速度也趋于缓慢。此后,鲢体长体质量都逐渐趋向渐进值,而生长速度和生长加速度逐渐趋于零(图 10d,f)。

2.3.2 鳙 Von Bertalanffy 生长方程

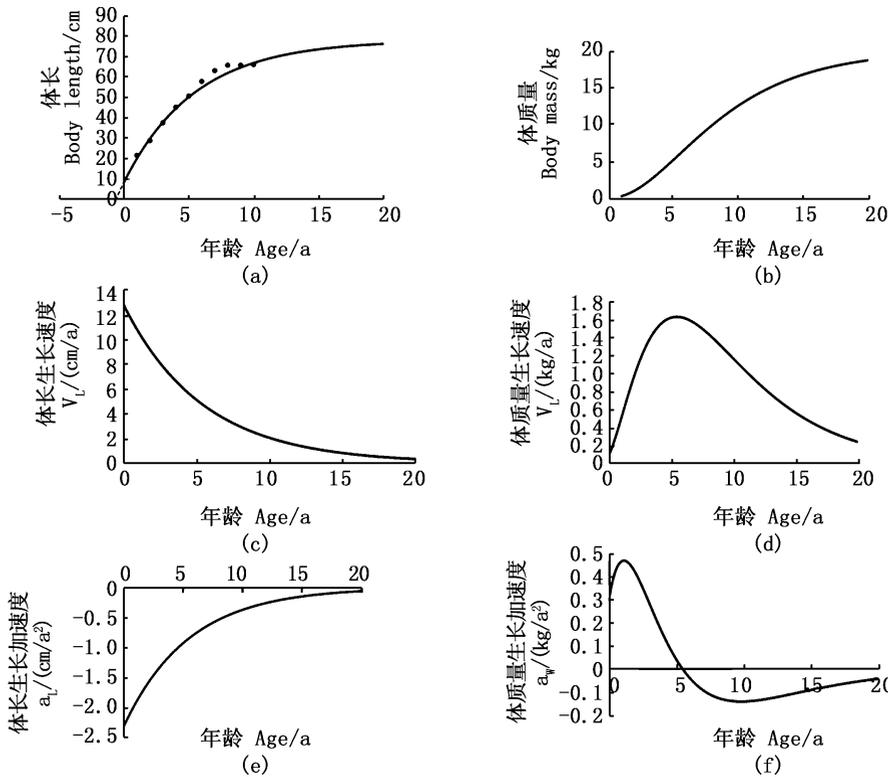
用最小二乘法求得鳙生长方程渐近体长 $L_{\infty} = 92.11$ 及生长系数 $k = 0.172$, $t_0 = -1.27$, 进而求出鳙体长、体质量方程分别为: $L_t = 92.11 [1 - e^{-0.172(t+1.27)}]$, $W_t = 23875.2 [1 - e^{-0.172(t+1.27)}]^{2.946}$, 其中 t 代表鱼的年龄。

体长体质量的生长速度 ($dL/dt, dW/dt$) 和生

长加速度 ($dL^2/dt^2, dW^2/dt^2$) 为

$$dL/dt = 15.81 e^{-0.172(t+1.27)}, dW/dt = -12097.9 e^{-0.172(t+1.27)} [1 - e^{-0.172(t+1.27)}]^{1.946}$$

$$dL^2/dt^2 = -2.9 e^{-0.172(t+1.27)}, dW^2/dt^2 = 2080 e^{-0.172(t+1.27)} [1 - e^{-0.172(t+1.27)}]^{0.946} [2.946 e^{-0.172(t+1.27)} - 1]$$



(a) 体长生长曲线; (b) 体质量生长曲线; (c) 体长生长速度曲线; (d) 体质量生长速度曲线; (e) 体长生长加速度曲线; (f) 体质量生长加速度曲线

(a) Growth curve of body length; (b) Growth curve of body weight; (c) Growth speed curve of body length; (d) Growth speed curve of body weight; (e) Growth acceleration curve of body length; (f) Growth acceleration curve of body weight

图 10 青草沙水库鲢的生长曲线

Fig. 10 The growth curve of *H. molitrix* in Qingcaosha Reservoir

青草沙水库鳙体长生长速度和加速度曲线 (图 11c, e) 显示: 随着时间 t 的增加, 体长生长速度 (dL/dt) 不断递减, 体长生长加速度 d^2L/dt^2 (图 11e) 逐渐下降, 为负值, 表明随着体长生长速度的下降, 其递减速度趋于缓慢。体质量生长速度和生长加速度曲线 (图 11d, f) 显示: 5 龄前是鳙体质量生长速度递增阶段, 大约在 5 龄时, 鳙的体质量生长速度达到最大, 体质量生长加速度为 0, 即 $t_i = (\ln b)/k + t_0 = 5.02$ (龄) 为生长速度拐点; 5 龄后进入鳙的体质量生长速度递减阶段,

且递减速率逐渐增加, 约 7.5 龄, 鳙的生长加速度降为最低点, 而后又逐渐趋近于 0, 表明随着体质量生长速度的进一步下降, 其递减速度也趋于缓慢。此后, 鳙体长体质量都逐渐趋向渐进值, 而生长速度和生长加速度逐渐趋于零 (图 11d, f)。

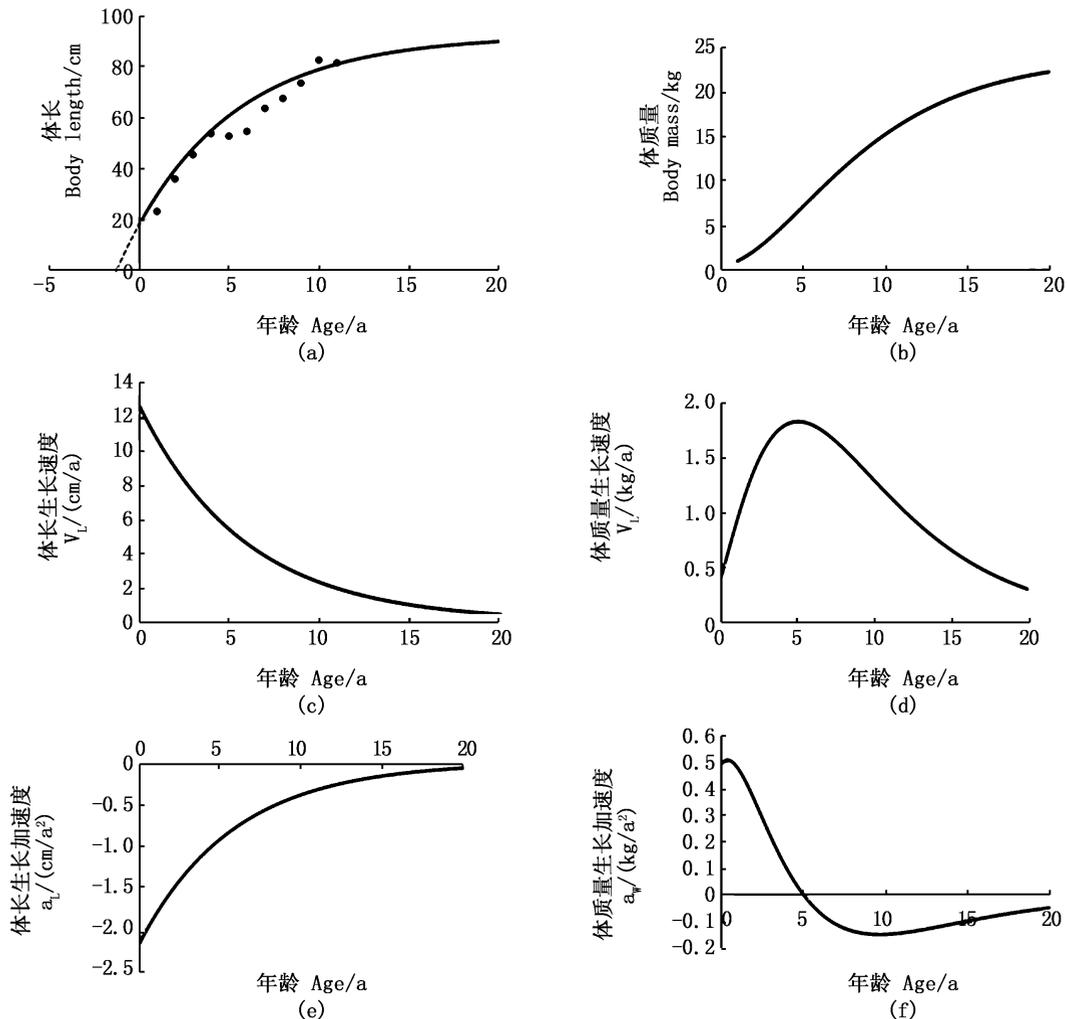
3 讨论

3.1 青草沙水库鲢、鳙种群结构分析

从鲢、鳙的体长体质量分布上, 渔获物中: 鲢

主要由 1~10 龄组成,其中以 3~4 龄居多;鳊由 1~11 龄组成,其中以 2~3 龄居多。青草沙水库鳊、鳊鱼类组成偏低龄化,低龄鱼在生长拐点之前的生长潜力大,生长速度较快,能够通过摄食

功能高效率的消减藻类,控制水中浮游生物^[18],目前来看,青草沙水库的鳊、鳊鱼类组成较为合理。



(a) 体长生长曲线; (b) 体质量生长曲线; (c) 体长生长速度曲线; (d) 体质量生长速度曲线; (e) 体长生长加速度曲线; (f) 体质量生长加速度曲线

(a) Growth curve of body length; (b) Growth curve of body weight; (c) Growth speed curve of body length; (d) Growth speed curve of body weight; (e) Growth acceleration curve of body length; (f) Growth acceleration curve of body weight

图 11 青草沙水库鳊的生长曲线

Fig. 11 The growth curve of *H. nobili* in Qingcaosha Reservoir

3.2 青草沙水库与其他水库相比较

在历史资料中,不同水体鳊、鳊由于生活的地理环境、水体盐度、饵料丰富度等诸多因素的不同,其生长状况也会大不相同,如拐点年龄、生长幂指数、体长和体质量的极大值均显示出了在不同水域间鳊、鳊生长特性的差异(表 1)。青草沙水库的鳊、鳊的拐点年龄比江苏傀儡湖^[19]的

大,体长体质量生长和极大值等生长指标上也都高于江苏傀儡湖,可以推测出处在同一纬度的青草沙水库鳊、鳊的饵料丰富,生长环境适宜,因而鳊、鳊生长较好。青草沙水库与内蒙古孟家段水库^[14]的鳊、鳊相比,生长拐点小,主要原因是地理位置的不同,孟家段水库会有一段时间的冰封期,鳊、鳊生长缓慢,且由于捕捞方式的问题,孟

家段水库的鲢、鳙种群结构中高龄鱼偏大,造成了对生长较快的低龄鱼的种内竞争^[14]。青草沙水库的鲢、鳙就整体而言,主要以2龄和3龄鱼为主,超过3龄的鲢、鳙的体长和体质量的生长速度都有增长的趋势,但在拐点年龄和性成熟年龄的关系上^[20],鲢、鳙的性成熟的年龄在4龄左右^[21],其生长拐点年龄迟于性成熟年龄,它们初次性成熟后仍然有快速生长期。从体长、体质量

生长速度上看,青草沙水库鳙的生长幂指数小于3,说明体型偏细长,且体长和体质量的极大值与其他水库相比较并无太大优势,青草沙水库鲢、鳙的生长潜力还没有得到最大的发挥。在生长指标上,青草沙水库与同一纬度的傀儡湖水库相比,有一定的生长优势,但与其他水库相比,无明显的南北差异。

表1 不同水域下的鲢、鳙的生长指标

Tab.1 Growth indexes of *H. molitrix* and *H. nobili* in different waters

地点 Place	鱼类种类 Fish species	生长拐点/龄 Growth inflection point	生长幂指数 Growth power exponent	极大体长/cm Maximum length	极大体质量/g Maximum weight
青草沙水库 Qingcaosha reservoir	鲢 <i>H. molitrix</i>	5.40	3.027 0	77.80	20 024.30
孟家段水库 ^[13] Mengjiaduan reservoir	鳙 <i>H. nobili</i>	5.00	2.946 0	92.11	23 875.20
江苏傀儡湖 ^[19] Jiangsu Kuilei lake	鲢 <i>H. molitrix</i>	6.41	2.862 0	75.58	8 365.39
黑龙江西泉眼水库 ^[4] Heilongjiang Xiquanyan reservoir	鳙 <i>H. nobili</i>	5.37	2.691 2	80.96	10 848.58
	鲢 <i>H. molitrix</i>	2.20	2.903 1	73.12	7 740.00
	鳙 <i>H. nobili</i>	3.30	2.737 2	94.35	15 260.00
	鲢 <i>H. molitrix</i>	7.56	3.146 4	197.40	7515.00
	鳙 <i>H. nobili</i>	10.68	3.104 8	258.28	30421.00

3.3 青草沙水库鲢、鳙的捕捞

青草沙水库的鲢、鳙早期生长速度快,个体达到一定水平后生长速度开始减缓,并逐渐向渐进值靠近。鲢、鳙生长速度最快的年龄段均为3~5龄,鲢的生长拐点年龄为5.4龄,而鳙为5.0龄。假如在生长拐点之前起捕,生长优势没有得到充分的发挥。在生长拐点以后,随着年龄的增长,鱼体生长速度减慢,且饵料系数增大,转化效率低,因此建议在渔业利用中,鲢、鳙以5.5龄后为起捕年龄,使青草沙水库中的鲢、鳙能够最高效地摄食水中的浮游生物和调控水质。

青草沙水库位于长江口,是上海市最大的水源地,同时也是新生的水库,因此对青草沙水库的鲢、鳙进行科学的放养和捕捞,以水生态系统内各生物因素之间的相互作用机制及它们在水生态系统中的功能为突破点,研究鲢、鳙在水源地的生态效益,通过生物操纵手段改善水源地水质,对水源地的保护具有重要意义。

参考文献:

[1] 王少坤,王绍祥,顾静,等. 上海饮用水源地青草沙水库轮虫群落结构的特征及其环境影响因子[J]. 动物学杂志, 2017, 52(6): 1023-1036.
WANG S K, WANG S X, GU J, et al. The characteristics of

community structure of rotifer and its environmental factors in Qingcaosha Reservoir, Shanghai [J]. Chinese Journal of Zoology, 2017, 52(6): 1023-1036.
[2] 陆晓如. 特大型水库综合运行调度平台建设研究与实践[J]. 净水技术, 2014, 33(3): 111-114.
LU X R. Research and practice on integrated platform construction of operation and control for super-huge type reservoir[J]. Water Purification Technology, 2014, 33(3): 111-114.
[3] 胡忠军,吴昊,陈立侨,等. 长江口青草沙水库正式供水前的鱼类群落结构特征[J]. 水产学报, 2012, 36(8): 1234-1241.
HU Z J, WU H, CHEN L Q, et al. Structure of fish assemblages before drinking-water supplies in Qingcaosha Reservoir of Yangtze River Estuary[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1234-1241.
[4] 高孜娟. 西泉眼水库鲢鱼鳙鱼生长及其生态效应研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.
GAO Z J. The growth and ecological effects of silver carp and bighead carp in Xiquanyan reservoir[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2012.
[5] 段金荣,张宪中,刘凯,等. 鲢鳙鱼和藻类治理关系的初步研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(20): 327-330.
DUAN J R, ZHANG X Z, LIU K, et al. The preliminary study on the relation between carp fish and algae [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(20): 327-330.
[6] XIE P, LIU J K. Practical success of biomanipulation using

- filter-feeding fish to control cyanobacteria blooms: a synthesis of decades of research and application in a subtropical hypereutrophic lake [J]. *The Scientific World Journal*, 2001, 1: 337-356.
- [7] BAUDOUIN M, MARENGO M, PERE A, et al. Comparison of otolith and scale readings for age and growth estimation of common dentex *Dentex dentex* [J]. *Journal of Fish Biology*, 2016, 88(2): 760-766.
- [8] HUANG S Q, WANG Y K, ZHENG X H, et al. Comparative analysis of three methods of making scale specimens for small fish [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2015, 98(2): 697-703.
- [9] 张学健, 程家骅. 鱼类年龄鉴定研究概况 [J]. *海洋渔业*, 2009, 31(1): 92-99.
ZHANG X J, CHENG J H. Survey on study of the fish age determination [J]. *Marine Fisheries*, 2009, 31(1): 92-99.
- [10] 李强, 胡继飞, 蓝昭军, 等. 利用鱼类钙化组织鉴定年龄的方法 [J]. *生物学教学*, 2010, 35(6): 51-52.
LI Q, HU J F, LAN Z J, et al. Use of fish calcification to identify age methods [J]. *Biological Teaching*, 2010, 35(6): 51-52.
- [11] NEGI R K, MAURYA A. Length-weight relationship and condition factor of *Labeo rohita* and *Hypophthalmichthys molitrix* [J]. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological & Chemical Sciences*, 2015, 6(2): 1505-1509.
- [12] VOLTA P, GIUSSANI G. Weight-length relationships (WLRs) and von Bertalanffy growth function (VBGF) parameters of *Alosa agone*, *Rutilus pigus* and the anadromous *Salmo trutta* from a deep south-alpine lake: Lago Maggiore (northern Italy) [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2010, 26(3): 474-476.
- [13] DE GRAAF G, PREIN M. Fitting growth with the von Bertalanffy growth function: a comparison of three approaches of multivariate analysis of fish growth in aquaculture experiments [J]. *Aquaculture Research*, 2005, 36(1): 100-109.
- [14] 杨景峰, 申玉春, 祁宝霞, 等. 孟家段水库鲢、鳙鱼生长规律的研究 [J]. *内蒙古民族大学学报(自然科学版)*, 2002, 17(3): 277-280.
YANG J F, SHEN Y C, QI B X, et al. Study on growth pattern of silver carp and bighead carp in Mengjiaduan reservoir [J]. *Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Sciences)*, 2002, 17(3): 277-280.
- [15] 刘明, 王仁曾. 基于 t 检验的逐步回归的改进 [J]. *统计与决策*, 2012(6): 16-19.
LIU M, WANG R Z. Stepwise regression improvement based on t test [J]. *Statistics and Decision*, 2012(6): 16-19.
- [16] 靳庭良, 张宝青. 回归分析中 t 检验与 F 检验关系的进一步探讨 [J]. *统计与决策*, 2009(21): 7-9.
JIN T L, ZHANG B Q. Further discussion on the relationship between t test and F test in regression analysis [J]. *Statistics and Decision*, 2009(21): 7-9.
- [17] 熊飞, 陈大庆, 刘绍平, 等. 青海湖裸鲤不同年龄鉴定材料的年轮特征 [J]. *水生生物学报*, 2006, 30(2): 185-191.
XIONG F, CHEN D Q, LIU S P, et al. Annual characteristics of the different ageing materials of *Gymnocypris przewalskii* (Kessler) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(2): 185-191.
- [18] 张国栋. 利用鲢鳙鱼及水生植物控制平原水库富营养化的研究 [D]. 青岛: 青岛理工大学, 2011.
ZHANG G D. Study on the eutrophication of the plateau reservoir by using the carp, bighead and aquatic plants [D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2011.
- [19] 朱峰跃, 刘家寿, 李钟杰, 等. 傀儡湖鲢、鳙的生长特性及渔业利用 [J]. *淡水渔业*, 2013, 43(2): 32-35.
ZHU F Y, LIU J S, LI Z J, et al. The growth performance of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys mobilis* in Lake Kuilei and their fisheries utilization [J]. *Freshwater Fisheries*, 2013, 43(2): 32-35.
- [20] 殷名称. 鱼类生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
YIN M C. Fish ecology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995.
- [21] 李思发, 王瑞霞. 长江、珠江水系鲢、鳙的性成熟速度及其遗传分析 [J]. *水产学报*, 1990, 14(3): 189-197.
LI S F, WANG R X. Maturity speed and genetic analysis of silver carp and bighead from Changjiang and Zhujiang River systems [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1990, 14(3): 189-197.

Age structure and growth of silver carp and bighead carp in Qingcaosha Reservoir in Shanghai

WEI Xianyun^{1,2}, GU Jing³, ZHANG Mingquan³, QIN Zhijie³, DILINAER Ainiwaer^{1,2}, GONG Xiaoling^{1,2}

(1. Shanghai University Key laboratory of Marine Animal Taxonomy and Evolution, Shanghai 201306, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Chengtou Raw Water Co., Ltd., Shanghai 201913, China)

Abstract: The Qingcaosha reservoir in the Yangtze River estuary is a special system for water supply and the water quality is mainly controlled through biological manipulation methods by *Hypophthalmichthys molitrix* (*H. molitrix*) and *Hypophthalmichthys nobilis* (*H. nobilis*). A total of 139 tails of *H. molitrix* and 59 *H. nobilis* were collected from June 2015 to May 2017. Their ages were identified through the scales or vertebrae, and their growth characteristics were studied based on ages. The results showed that: the age of *H. molitrix* ranged from 1 to 10 years old and most of them ranged from 3 to 4 years old; The age of *H. nobilis* was composed of 1 to 11 years old, most of them were 2 or 3 years old. The formula of body length and weight of *H. molitrix* and *H. nobilis* were $W = 0.0379L^{3.027}$ and $W = 0.0390L^{2.946}$ respectively. the functions of Von Bertalanffy in *H. molitrix* was $L_t = 77.73[1 - e^{-0.183(t+0.60)}]$, $W_t = 20024.3[1 - e^{-0.183(t+0.60)}]^{3.027}$, and that in *H. nobilis* were: $L_t = 92.11[1 - e^{-0.172(t+1.27)}]$, $W_t = 23875.2[1 - e^{-0.172(t+1.27)}]^{2.946}$, the growth inflection points of *H. molitrix* and *H. nobilis* were 5.24 and 5 years old respectively. So it is recommended that the fishing age of *H. nobilis* and *H. molitrix* should be 5.5 years old respectively.

Key words: Qingcaosha reservoir; *Hypophthalmichthys molitrix*; *Hypophthalmichthys nobilis*; age; growth