

文章编号: 1674-5566(2015)05-0754-11

浙江省义乌市岩口水库鱼类群落多样性分析及鲢、鳙生长特性研究

原居林¹, 李明², 杨元杰¹, 辛建美¹, 刘金殿¹, 顾志敏¹

(1. 浙江省淡水水产研究所农业部淡水渔业健康养殖重点实验室, 浙江省淡水水产育种重点实验室, 浙江 湖州 313001; 2. 金华市水产技术推广站, 浙江 金华 321000)

摘要: 为了解义乌市岩口水库鱼类资源现状、群落结构特征及主要鱼类的生长特性, 2013年3月、5月、7月、9月和11月对水库鱼类资源进行了系统调查。共采集鱼类样本452尾, 经鉴定属于37种, 隶属5目8科。其中, 鲤形目28种, 占总数的75.7%; 鲢形目5种, 占总数的13.5%; 鳙形目2种, 占总数的5.4%; 鲑形目和合鳃目各1种, 分别占总数的2.7%。生态类型组成分析结果显示, 以肉、杂食性鱼类为主。群落优势度分析发现, 全年优势种有5种, 分别为鳙、鲢、伍氏半鲢、圆吻鲴和翘嘴鲌。生物多样性指数分析表明, 鱼类种群丰富度指数(D)值变化范围为2.09~6.05, Shannon-Wiener多样性指数(H')变化范围为0.87~1.42, 种类均匀度指数(J')变化范围为0.41~0.92。同时, 构建了鲢、鳙生长模型: 鲢的全长、体重生长方程分别为: $L_t = 73.591 [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]$, $W_t = 5.911 [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]^{2.812}$, 鳙的全长、体重生长方程分别为: $L_t = 73.256 [1 - e^{-0.318(t+0.12)}]$, $W_t = 7.625 [1 - e^{-0.319(t+0.012)}]^{3.070}$ 。通过分析鲢、鳙生长情况, 发现岩口水库鲢、鳙体长增长速度以1~4龄较高, 4龄以后逐渐降低, 鲢、鳙体长生长拐点分别为3.759龄和3.327龄, 为使鲢、鳙鱼最大程度地发挥洁水保水功效, 建议鲢、鳙的起捕年龄为5龄。

研究亮点: 采用多种渔具对浙江义乌岩口水库鱼类的群落结构特征、生物多样性及鲢、鳙生长情况进行调查研究, 分析了鱼类群落优势度和多样性的时空变化规律, 同时构建了鲢、鳙生长模型公式, 确定了生长拐点及最适捕捞年龄, 以为岩口水库水质生物调控提供基础资料。

关键词: 岩口水库; 渔业群落结构; 鲢; 鳙; 生长特性; 洁水保水渔业
中图分类号: Q 145
文献标志码: A

岩口水库位于浙江省义乌市上溪镇岩口村, 地处钱塘江流域东阳江支流航慈溪上游, 总库容为3590万 m^3 , 可养水面积240 hm^2 , 是一座以供水、灌溉、防洪为主, 结合发电等综合利用的中型水利工程。岩口水库不仅是义乌地区重要的饮用水源地之一, 也是重要的淡水鱼生产基地。然而, 近年来, 由于库区周边生活用水和农业退水的大量汇入, 造成岩口水库水体富营养化程度日趋严重, 2011年9-11月水库发生大面积的蓝藻水华, 严重影响了周边居民的饮用水安全。为此, 自2012年水库大力发展“洁水保水渔业”, 通过增殖放流滤食性鱼类(鲢、鳙)来有效控制藻类的异常增殖、维护水生态系统稳定、确保饮用水

安全。为科学合理地制定岩口水库“洁水保水渔业”规划, 最大程度地发挥渔业洁水保水功效, 本研究通过一周年的鱼类资源调查, 系统分析了水库鱼类种类组成、群落结构特征、优势种和生物多样性。同时分析鲢、鳙的生长规律, 掌握了其资源量的变动规律和生长拐点, 以为科学制定渔业发展政策提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查时间与方法

分别于2013年3月、5月、7月、9月和11月对岩口水库鱼类进行了渔业资源调查。根据《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[1], 结合岩口水

收稿日期: 2015-02-03 修回日期: 2015-05-11

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303056-4)

作者简介: 原居林(1982—), 男, 工程师, 博士研究生, 研究方向为渔业水域生态学及大水面增养殖技术。E-mail: yuanjuln1982@163.com

库的水文特点,在库区共设立 6 个采样断面,具体位置见图 1。由库区专业渔民在不同季节利用多层刺网(10 cm、8 cm、5 cm 和 3 cm)、地笼网和手撒网采集鱼类样本,每次采集时间为 24 h。对采集的渔获物进行分类、称重(精确至 0.1 g)、测量(精确至 0.1 cm)、计数,并参照《浙江动物志淡水鱼类》^[2]进行种类鉴定。同时,取鲢、鳙侧线鳞以上、背鳍下方的鳞片 5~10 片作为鉴定年龄的材料。将采集鳞片装入小纸袋,编号并标上体长、体重和日期,保存待用。测量时鳞片用清水洗净,每个样本取 3~5 枚完整、轮纹清晰的鳞片进行制片。用台式解剖镜(含照相系统,型号 SE-TRW, OLYMPUS)观察、鉴定年龄,获取原始数据。

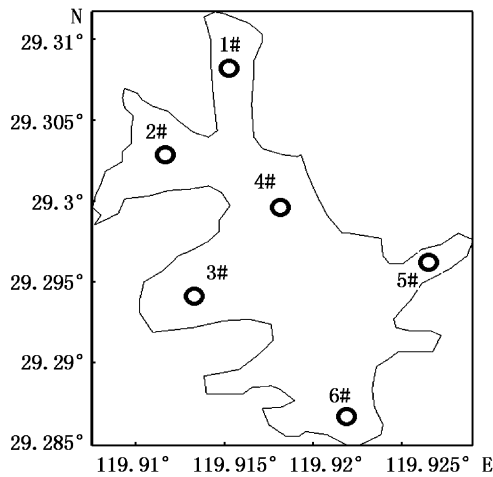


图 1 岩口水库鱼类采样点分布示意图
Fig. 1 The locations of the sampling stations in Yankou Reservoir

1.2 鱼类群落多样性和优势度

种类丰富度指数 $D^{[3]}$:

$$D = (S - 1) / \ln W \quad (1)$$

Shannon-Wiener 多样性指数 $H'^{[4]}$:

$$H' = - \sum P_i \ln P_i \quad (2)$$

种类均匀度指数 $J'^{[5]}$:

$$J' = H' / \ln S \quad (3)$$

式中: S 为种类数; W 为总重量; P_i 为 i 种鱼的个体数在总体中所占的比例。

采用 PINKAS 等^[6]的相对重要性指数 (Index of relative importance; I_{RI}) 来研究鱼类群落优势种的成分:

$$I_{RI} = (N + W) \times F \quad (4)$$

式中: N 为某一种类的尾数占总尾数的百分比;

W 为某一种类的重量占总重量的百分比; F 为某一种类出现的站点数占调查总站点的百分比。

1.3 生长模型建立

对采集到的体长、体重数据采用 Excel 2003 软件处理分析获得体长 (L) 和体重 (W) 的关系式 ($W = aL^b$)。同时采用最小二乘法估算岩口水库鲢、鳙的渐进体长 (L_∞)、渐进体重 (W_∞) 和生长指数 (k), 拟合 Von Bertalanffy 生长方程 (VBGF)。VBGF 公式为:

$$\begin{aligned} L_t &= L_\infty \times [1 - e^{-k(t-t_0)}] \\ W_t &= L_\infty \times [1 - e^{-k(t-t_0)}] \end{aligned} \quad (5)$$

式中: L_t 为 t 龄时的体长。

由 VBGF 生长参数 L_∞ 、 k 和 t_0 计算岩口水库鲢、鳙的体长、体重生长速度和加速度, 体长生长速度 (dl/dt) 和加速度 (d^2l/dt^2) 方程分别为:

$$\begin{aligned} \frac{dl}{dt} &= L_\infty \times k \times e^{-k(t-t_0)} \\ \frac{d^2l}{dt^2} &= -L_\infty \times k^2 \times e^{-k(t-t_0)} \end{aligned} \quad (6)$$

体重生长速度 (dW/dt) 和加速度 (d^2W/dt^2) 方程分别为:

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dt} &= b \times W_\infty \times k \times e^{-(t-t_0)} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^{b-1} \\ \frac{d^2W}{dt^2} &= b \times W_\infty \times k^2 \times [1 - e^{-k(t-t_0)}]^{b-2} \times (b \times e^{-k(t-t_0)} - 1) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{生长拐点年龄为: } t_p = \frac{\ln p}{k} + t_0 \quad (8)$$

2 结果

2.1 渔获物组成

2.1.1 种类组成

本次调查采集到鱼类样本 452 尾, 共计 304.524 7 kg。经鉴定共发现鱼类 37 种, 隶属于 5 目 8 科, 具体名录见表 2。其中, 鲤形目 28 种, 占总数的 75.7%; 鲇形目 5 种, 占总数的 13.5%; 鲈形目 2 种, 占总数的 5.4%; 鲢形目和合鳃目各 1 种, 分别占总数的 2.7%。

2.1.2 生态类型组成

参照鱼类食性文献资料和食性类型划分方法^[7]将岩口水库鱼类划分为肉食性、杂食性、植食性和碎屑食性 4 类。本次调查过程中, 乌鳢 (*Channa argus*)、翘嘴鲈 (*Culter alburnus*)、鲇鱼 (*Silurus asotus*) 等凶猛性肉食性, 鳙 (*Aristichthys*

nobilis)、池沼公鱼(*Hypomesus olidus*)等以浮游动物为食的温和肉食性鱼类以及青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)等以底栖生物为食的肉食性鱼类总计 16 种,占总数的 43.2%;马口鱼(*Opsariichthys bidens*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)等杂食性鱼类总计 17 种,占

总数的 46.0%;草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、似鳊(*Pseudobrama simoni*)和鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)为植食性鱼类,占总数的 8.1%;碎屑性鱼类 1 种,圆吻鲮(*Distoechodon tumirostris*)占总数的 2.7%。

表 1 岩口水库鱼类组成及生态类型分析

Tab. 1 Composition of fish species and ecological type analysis in Yankou reservoir

目 order	科 family	种 species	生态类型 ecological type
		草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	G
		青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	P
		马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	O
		宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	O
		伍氏半鲈 <i>Hemiculterella wui</i>	O
		贝氏鲈 <i>Hemiculter bleekeri</i>	O
		鲈 <i>Hemiculter leucisculus</i>	O
		红鳍鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	P
		翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	P
		蒙古鲌 <i>Culter mongolicus mongolicus</i>	P
		圆吻鲮 <i>Distoechodon tumirostris</i>	D
		彩石鲮 <i>Rhodeus lighti</i>	O
		高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	O
		中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	O
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	P
		鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	G
		鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	O
		鲫 <i>Carassius auratus</i>	O
		似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	G
		棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	O
		似鲃 <i>Pseudogobio vaillanti</i>	P
		点纹银鲃 <i>Squalidus wolterstorffi</i>	P
		麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	O
		黑鳍鲈 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	O
		小鲈 <i>Sarcocheilichthys parvus</i>	O
		华鲈 <i>Sarcocheilichthys sinensis sinensis</i>	O
		泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	O
	鳅科 Cobitidae	中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>	O
合鳃目 Symbranchiformes	合鳃科 Synbranchidae	黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	P
	胡瓜鱼科 Osmeridae	池沼公鱼 <i>Hypomesus olidus</i>	P
鲑形目 Salmoniformes	鰕虎鱼科 Gobiidae	子陵栉鰕虎鱼 <i>Ctenogobius giurinus</i>	P
	鳢科 Channidae	乌鳢 <i>Channa argus</i>	P
		黄颡鱼 <i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	P
鲈形目 Perciformes	鲮科 Bagridae	白边拟鲮 <i>Pseudobagrus albomarginatus</i>	P
		光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	P
		短尾拟鲮 <i>Pseudobagrus brevicaudatus</i>	P
鲇形目 Siluriformes	鲇科 Siluridae	鲇鱼 <i>Silurus asotus</i>	P

注: P. 肉食性; O. 杂食性; G. 草食性; D. 碎屑食性类。

Note: . P Carnivorous ; O. Omnivorous; G. Herbivorous; D. Detritus.

2.2 鱼类生物多样性指数的时空变化

2.2.1 物种丰富度指数变化

岩口水库鱼类物种丰富度指数变化范围为 2.09 ~ 6.05, 周年平均为 4.46 ± 0.56 (图 2a)。从时间分布来看, 在 7 月份最大(平均 5.05 ± 1.05), 3 月份最小(平均 3.84 ± 1.41), 各月份间差异不显著($P > 0.5$); 从空间分布上看, 6 个采样点中, 1# 采样点最大(平均 5.93 ± 1.36), 6# 采样点最小(平均 2.97 ± 0.51), 1#、2# 采样点物种丰富度指数与其他各采样点差异显著($P < 0.5$)。

2.2.2 Shannon-Wiener 多样性指数变化

岩口水库鱼类 Shannon-Wiener 多样性指数变化范围为 0.87 ~ 1.42, 周年平均为 1.11 ± 0.09 (图 2b)。从时间分布来看, 在 7 月份最大(平均

1.20 ± 0.03), 3 月份最小(平均 1.00 ± 0.15), 各月份间差异不显著($P > 0.5$); 从空间分布上看, 6 个采样点中, 1# 采样点最大(平均 1.26 ± 0.12), 4# 采样点最小(平均 1.01 ± 0.15), 1#、2# 采样点与其他各采样点差异显著($P < 0.5$)。

2.2.3 种类均匀度指数变化

岩口水库鱼类种类均匀度指数变化范围为 0.41 ~ 0.92, 周年平均为 0.75 ± 0.09 (图 2c)。从时间分布来看, 在 3 月份最大(平均 0.85 ± 0.06), 5 月份最小(平均 0.65 ± 0.16), 各月份间差异不显著($P > 0.5$); 从空间分布上看, 6 个采样点中, 6# 采样点最大(平均 0.84 ± 0.07), 1# 采样点最小(平均 0.62 ± 0.14), 各采样点差异显著($P < 0.5$)。

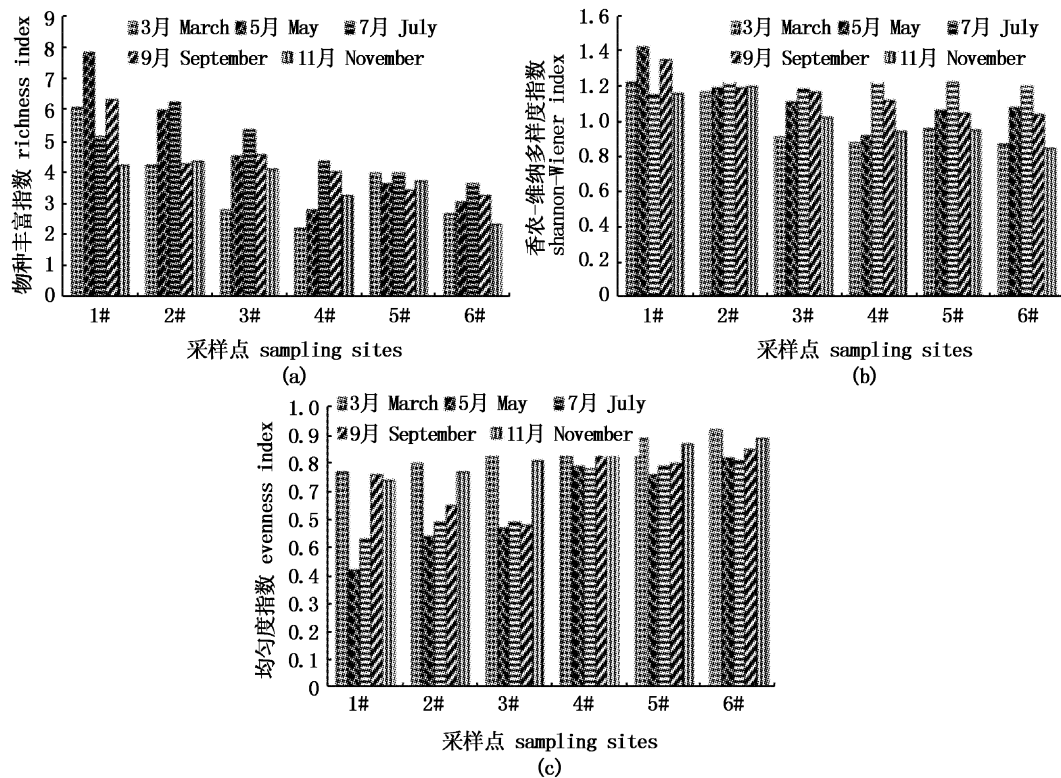


图2 岩口水库鱼类3种生物多样性指数变化

Fig. 2 Changes of three biodiversity indexes of fish community in Yankou Reservoir

2.3 鱼类群落的生态优势度季节变化

相对重要性指数(IRI) 综合考虑了研究种类的个体数、生物量组成和出现频率等信息, 已被广泛地应用于鱼类摄食生态和群落优势种成分的研究。本文根据该指数的大小, 确定鱼类在群落内的重要性, IRI 值大于 500 的种类为优势种,

IRI 值介于 100 ~ 500 的种类为常见种, IRI 值介于 10 ~ 100 的种类为一般种, IRI 值介于 1 ~ 10 的鱼为少见种。表 2 列出了岩口水库不同月份 IRI 值前 10 位重要种类成分名录。从表 2 中可知, 3 月份岩口水库鱼类优势种有 6 种, 按照优势度依次为池沼公鱼、伍氏半鲃、鳙、圆吻鲴、鲢和翘

表 2 岩口水库不同月份鱼类群落重要种类成分

Tab. 2 Important components of fish community in different months in Yankou Reservoir

时间 time	种类 species	重量比/% weight percentage	数量比/% quantity percentage	频次/% frequency	IRI
3 月份 March	池沼公鱼 <i>H. olidus</i>	6.1	33.8	50	1995
	伍氏半鲈 <i>H. wui</i>	2.3	29.2	50	1575
	鳊 <i>A. nobilis</i>	43.6	1.3	33.3	1495.17
	圆吻鲴 <i>D. tumirostri</i>	2.6	11.2	50	690
	鲢 <i>H. molitrix</i>	37.4	1.2	16.7	644.62
	翘嘴鲌 <i>C. alburnus</i>	2.1	10.3	50	620
	点纹银鲌 <i>S. wolterstorffi</i>	0.4	3.4	50	190
	蒙古鲌 <i>C. mongolicus mongolicus</i>	1.8	5.4	16.7	120.24
	马口鱼 <i>O. bidens</i>	0.2	1.44	50	82
中华鲟 <i>R. sinensis</i>	0.8	1.51	33.3	76.923	
5 月份 May	鳊 <i>A. nobilis</i>	52	1.5	66.6	3563.1
	伍氏半鲈 <i>H. wui</i>	1.8	28.3	100	3010
	圆吻鲴 <i>D. tumirostri</i>	3.7	23.5	66.6	1811.52
	鲢 <i>H. molitrix</i>	32.5	1.6	50	1705
	翘嘴鲌 <i>C. alburnus</i>	2.4	22.4	66.6	1651.68
	蒙古鲌 <i>C. mongolicus</i>	0.9	3.2	50	205
	马口鱼 <i>O. bidens</i>	0.54	1.24	100	178
	池沼公鱼 <i>H. olidus</i>	0.8	4.5	33.3	176.49
	点纹银鲌 <i>S. wolterstorffi</i>	0.3	3.1	33.3	113.22
黄颡鱼 <i>P. fulvidraco</i>	2.1	1.1	33.3	106.56	
7 月份 July	鲢 <i>H. molitrix</i>	44.5	2.4	100	4690
	鳊 <i>A. nobilis</i>	42.6	1.1	100	4370
	伍氏半鲈 <i>H. wui</i>	1.6	30.2	66.7	2121.06
	翘嘴鲌 <i>C. alburnus</i>	1.4	18.6	100	2000
	圆吻鲴 <i>D. tumirostri</i>	2	25.2	50	1360
	子陵栉鰕虎鱼 <i>C. giurinus</i>	0.1	4.9	66.7	333.5
	鲫 <i>C. auratus</i>	2.1	3.1	50	260
	白边拟鲮 <i>P. lbomarginatus</i>	0.3	2.12	50	121
	黄颡鱼 <i>P. fulvidraco</i>	1.2	2	33.3	106.56
马口鱼 <i>O. bidens</i>	0.3	1.43	50	86.5	
9 月份 September	鳊 <i>A. nobilis</i>	54.6	2.7	100	5730
	鲢 <i>H. molitrix</i>	34.3	1.9	83.3	3015.46
	伍氏半鲈 <i>H. wui</i>	2.1	30.8	83.3	2740.57
	翘嘴鲌 <i>C. alburnus</i>	1.2	18	100	1920
	圆吻鲴 <i>D. tumirostri</i>	2.3	28	50	1515
	子陵栉鰕虎鱼 <i>C. giurinus</i>	0.1	3.1	50	160
	蒙古鲌 <i>C. mongolicus</i>	0.3	1.5	50	90
	白边拟鲮 <i>P. albomarginatus</i>	0.4	2.3	33.3	89.91
	黄颡鱼 <i>P. fulvidraco</i>	0.4	0.8	66.7	80.04
中华鲟 <i>R. sinensis</i>	0.1	2	33.3	69.93	
11 月份 November	圆吻鲴 <i>D. tumirostri</i>	4.1	40.1	66.7	2948.14
	鳊 <i>A. nobilis</i>	43.4	1.7	50	2255
	鲢 <i>H. molitrix</i>	34.2	1.3	50	1775
	伍氏半鲈 <i>H. wui</i>	0.9	21.1	50	1100
	翘嘴鲌 <i>C. alburnus</i>	0.7	13.9	66.7	973.82
	鲫 <i>C. auratus</i>	1.2	4.6	66.7	386.86
	鲤 <i>C. carpio</i>	8.4	0.7	33.3	303.03
	子陵栉鰕虎鱼 <i>C. giurinus</i>	0.1	4.2	50	215
	白边拟鲮 <i>P. albomarginatus</i>	0.6	2.4	50	150
乌鲢 <i>C. argus</i>	2.3	0.2	50	125	

嘴鲢;常见种有 2 种,分别为点纹银鲃和蒙古鲃;一般种有 2 种,分别为马口鱼和中华鲮。5 月份岩口水库鱼类优势种有 5 种,按照优势度依次为鳙、伍氏半鲈、圆吻鲃、鲢和翘嘴鲢;常见种有 5 种,分别为蒙古鲃、马口鱼、池沼公鱼、点纹银鲃和黄颡鱼。7 月份岩口水库鱼类优势种有 5 种,按照优势度依次为鲢、鳙、伍氏半鲈、翘嘴鲢和圆吻鲃;常见种有 4 种,分别为子陵栉鰕虎鱼、鲫、白边拟鲮和黄颡鱼;一般种有 1 种,为马口鱼。9 月份岩口水库鱼类优势种有 5 种,按照优势度依次为鳙、鲢、伍氏半鲈、翘嘴鲢和圆吻鲃;常见种有 1 种,为子陵栉鰕虎鱼;一般种有 4 种,分别为白边拟鲮、黄颡鱼、中华鲮、乌鳢。11 月份岩口水库鱼类优势种有 5 种,按照优势度依次为圆吻鲃、鳙、鲢、伍氏半鲈和翘嘴鲢;常见种有 5 种,分别为鲫、鲤、子陵栉鰕虎、白边拟鲮和乌鳢。综合分析上述结果发现,岩口水库不同月份鱼类的优势种处于动态变化过程中,其中鳙、鲢、伍氏半鲈、圆吻鲃和翘嘴鲢为周年优势种。

2.4 鲢、鳙生长情况

2.4.1 鲢、鳙年龄和体长组成分析

在本次采样调查过程中,鲢主要由 2 至 6 龄鱼构成,其中 3 龄至 4 龄鱼构成了鲢资源量的 84.9%,4 龄鱼数量最多,占 49.7%(图 3a)。鳙主要由 2 至 7 龄鱼构成,其中 3 龄至 5 龄鱼构成了鳙产量的 93.2%,4 龄鱼数量最多,占 47%(图 3b)。

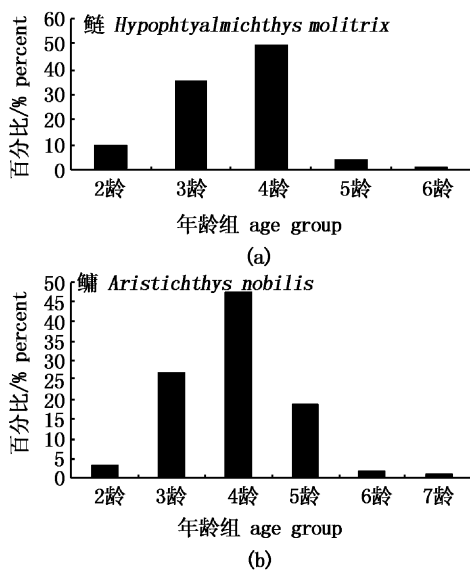


图 3 岩口水库鲢、鳙年龄组成
Fig. 3 Age composition of and *H. molitrix* and *A. nobilis* in Yankou Reservoir

本次采集的鲢体长变化范围为 29.7 ~ 65.6 cm, 优势体长为 36.2 ~ 50.7 cm(图 4a);鳙体长变化范围为 34.2 ~ 63.2 cm, 优势体长为 47.3 ~ 50.7 cm(图 4b)。

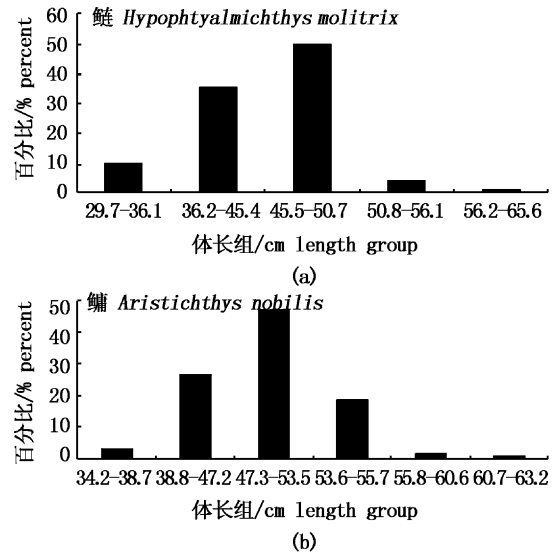


图 4 岩口水库鲢、鳙体长分布图
Fig. 4 Body length distribution of *H. molitrix* and *A. nobilis* in Yankou Reservoir

2.4.2 体长和体重关系方程

根据所测鲢(图 5a)、鳙(图 5b)体长和体重,拟合岩口水库鲢、鳙体长和体重关系方程,具体结果如下:

鲢的全长(L , cm) - 体重(W , kg) 关系式为:
 $W = 3.328 \times 10^{-2} L^{2.812} (r = 0.952)$

鳙的全长(L , cm) - 体重(W , kg) 关系式为:
 $W = 1.436 \times 10^{-2} L^{3.070} (r = 0.969)$

二者 b 值均 ≈ 3 ,表明岩口水库中鲢、鳙的生长基本是匀速的,随着鱼体长的增长,体重有累进的更快速度增长的趋势,可采用 Von Bertalanffy 生长方程拟合。

2.4.3 生长方程

经推算,岩口水库鲢全长(L_t)、体重(W_t) 生长方程分别为:

$$L_t = 73.591 [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]$$

$$W_t = 5.911 [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]^{2.812}$$

鳙全长(L_t)、体重(W_t) 生长方程分别为:

$$L_t = 73.256 [1 - e^{-0.318(t+0.12)}]$$

$$W_t = 7.625 [1 - e^{-0.319(t+0.012)}]^{3.070}$$

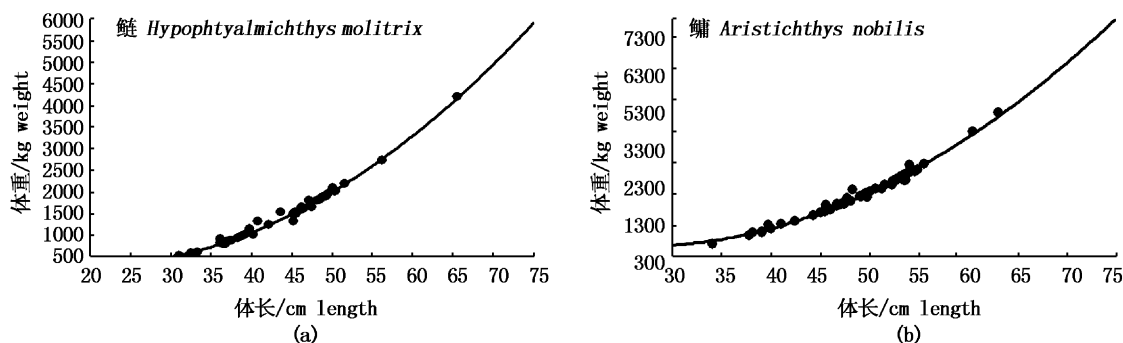


图5 岩口水库鲢、鳙体长和体重关系图

Fig. 5 Relationship between body length and weight of *H. molitrix* and *A. nobilis* in Yankou Reservoir

2.4.4 生长速度和加速度

由 Von Bertalanffy 生长方程推导出岩口水库的鲢、鳙鱼类体重生长速度公式。鲢的生长速度和加速度方程分别为:

体长生长速度公式为:

$$\frac{dl}{dt} = 19.518 \times e^{-0.265(t+0.136)}$$

体重生长速度公式为:

$$\frac{dW}{dt} = 19.568 \times e^{-0.265(t+0.136)} \times [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]$$

体长加速度公式为:

$$\frac{d^2l}{dt^2} = -5.177 \times e^{-0.265(t+0.136)}$$

体重加速度公式为:

$$\frac{d^2W}{dt^2} = 1.670 \times e^{-0.265(t+0.136)} \times (1 - e^{-0.265(t+0.136)})^{2.070}$$

鳙的生长速度和加速度方程分别为:

体长生长速度公式为:

$$\frac{dl}{dt} = 19.518 \times e^{-0.319(t+0.012)}$$

体重生长速度公式为:

$$\frac{dW}{dt} = 2.022 \times e^{-0.319(t+0.012)} \times [1 - e^{-0.319(t+0.012)}]^{2.070}$$

体长加速度公式为:

$$\frac{dl}{dt^2} = -5.177 \times e^{-0.319(t+0.012)}$$

体重加速度公式为:

$$\frac{d^2W}{dt^2} = 1.508 \times e^{-0.319(t+0.012)} \times [1 - e^{-0.319(t+0.012)}]^{1.070} [3.070 \times e^{-0.319(t+0.012)} - 1]$$

2.4.5 生长拐点计算

由图6可知,岩口水库鲢体长生长速度以1~4龄较高,4龄以后逐渐降低,体重生长拐点为3.759龄,此时体长为47.369 cm;鳙体长生长速度以1~4龄较高,4龄以后逐渐降低,体重生长拐点为3.327龄,此时体重为2.188 kg。为使鲢、鳙鱼最大程度地发挥洁水保水功效,应将鲢、鳙的起捕年龄设定为5龄。同时,为确保增殖放流鲢、鳙鱼种的成活率,需增殖放流大规格鲢、鳙鱼种,严格控制凶猛性鱼类(如翘嘴鲌等)的生物量,目前水库中翘嘴鲌的体重为23~60 g为主,平均体重26 g,根据中国科学院水生生物研究所武汉东湖的研究结果^[22]推算,岩口水库鲢、鳙鱼种放养规格应大于4.5 cm。

3 讨论

3.1 岩口水库鱼类群落组成变化

20世纪80年代中期,浙江省淡水水产研究所对东阳江航慈溪渔业资源调查结果显示该流域共有鱼类46种,本次调查发现鱼类只有37种,种类有所减少。通过对比发现,两次调查减少的鱼类品种有鳗鲡(*Anguilla japonica*)、花鲈(*Lateolabrax japonicus*)、长颌鲚(*Coilia macrognathos*)、鳊(*Elopichthys bambusa*)、鳊(*Siniperca chuatsi*)和河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)、花鲢(*Hemibarbus maculatus*)、似鲮(*Belligobio nummifer*)和光唇鱼(*Acrossocheilus fasciatus*)。分析原因,主要是近年来钱塘江流域大量兴建水利工程(如闸坝),阻断了鱼类洄游通道,致使洄游性鱼类无法溯水至主要支流进行繁殖^[8],从而造成支流洄游性鱼类(如鳗鲡、花鲈和长颌鲚)几近消失;二是渔业资源的过度捕捞,

导致一些具有地域性经济价值的鱼类,如鳊、鳙和河川沙塘鳢等资源量锐减。再者,水库建成后,原有的河道水文形态发生了改变(由溪流型转变为湖泊型),库区水位升高,河水流速减缓,泥沙大量沉积,鱼类原有的栖息地,特别是索饵场和产卵场发生变化遭到破坏,致使鱼类群落结构和生态类型也随之发生变化,适应流水生活的

鱼类生存空间减少,适应缓流或静水环境的鱼类种群数量将逐步上升^[9]。本研究中例如光唇鱼等溪流性鱼类已在水库难觅其影,取而代之的是以适应静水环境、以杂食性的鱼类(如鲤、鲫)品种数量增加,上述结果与目前国内外水利工程建设导致江河湖泊鱼类资源变化的结果相一致^[10-13]。

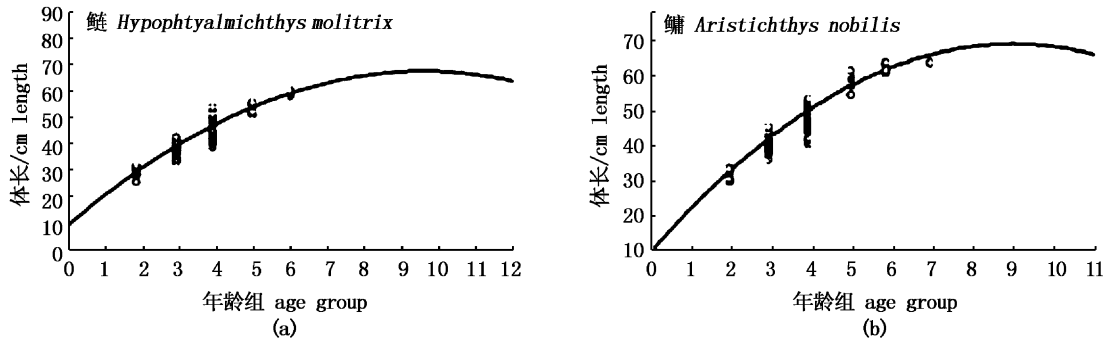


图6 岩口水库鲢、鳙生长曲线

Fig. 6 Growth curve of *H. molitrix* and *A. nobilis* in Yankou Reservoir

本次调查发现,岩口水库鱼类周年优势种有鲢、鳙、伍氏半鲈、圆吻鲴和翘嘴鲌5种,除此之外3月份还有池沼公鱼,分析上述鱼类成为优势种的成因,主要有以下两点:(1)2001年和2012年增殖放流了鲢、鳙、池沼公鱼使其资源量倍增,成为了优势种,除此之外水库无增殖放流其他品种鱼类;(2)伍氏半鲈、圆吻鲴和翘嘴鲌因繁殖条件要求不高,能在库区和上游的溪流中完成繁殖,加之其在水库中被捕食风险较小,因而保有一定的种群数量。

3.2 生物多样性指数变化

多样性指数能够反映水库鱼类群落结构稳定性,可从鱼类种群数量、个体数量、分布均匀等多方面来衡量群落结构^[14]。群落物种越丰富,多样性指数越高^[15]。但生物多样性指数也会随着水域生态环境变化相应变化。本研究过程中岩口水库为开展增殖放流活动,鱼类的物种丰富度指数变化、Shannon-Wiener多样性指数从时间上看均为7月份最大,3月份最小,这可能与鱼类的活动规律及此次采样的方法有密切联系,7月份随着水温的升高和饵料生物的增加,鱼类活动频繁,易被刺网、地笼网等捕捞,因而物种丰富度指数变大,Shannon-Wiener多样性指数较高,而3月份由于鱼类活动量减小,不易被捕捞,因而二者

较低;从空间分布上看,1#采样点地处河库交汇处,鱼类种类较水库库中(6#和4#采样点)更为丰富,因而物种丰富度指数和多样性指数较高。再者生物多样性指数变化一定程度上能够反映生态系统的稳定性。天然水域正常的状况下鱼类群落Shannon-Wiener多样性指数的变化范围为1.5~3.5^[16],而岩口水库周年变化范围为0.87~1.42,低于正常状况多样性指数值,说明其生态系统受到人为影响较大。且相对于千岛湖等发育期较久的水库而言其结果仍偏低(千岛湖1.31~1.48)^[17],说明随着水库发育程度的不断完善,其生态系统稳定性也随之提高。分析岩口水库鱼类生物多样性较低的原因,主要与水库自然条件发生变化和捕捞强度过大造成鱼类种类数量减少、增殖放流致使水库鱼类群落结构单一化、生态位重叠致使相同生态位鱼类消失等有关。

3.3 鲢、鳙的生长特性分析

岩口水库与我国江苏、湖北、辽宁等地^[18]水库鲢、鳙生长情况比较结果如表3和表4所示。鲢、鳙的生长情况在不同的地区水库水体中具有比较明显的差异,这主要与各自的水文条件、食物资源、种群密度、生态位重叠等因素有关^[19]。岩口水库因实施“洁水保水渔业”模式,不投饵、

不施肥,鲢、鳙的食物资源主要依靠天然饵料,因而鲢、鳙生长速度不如其他水库;另一方面岩口水库位于北纬 29°,夏季高温期较长,超出了鲢、鳙的最适宜生长温度^[20],在一定程度上抑制了

鲢、鳙的摄食,且当进入高温环境季节后,鱼体能量消耗较大,可用于鱼类生长的能量减少,一定程度上也致使鲢、鳙的生长速度减缓。

表 3 我国不同区域水库鲢生长参数比较

Tab. 3 Comparison of growth for *Hypophthalmichthys molitrix* between the different reservoir

名称 name	体长体重关系式 relationship between body length and weight	生长方程 growth equation	生长拐点 inflecting point	
			年龄 /year age	体重 /kg weight
江苏傀儡湖水库 Kuilei reservoir in Jiangsu province	$W_t = 3 \times 10^{-5} L_t^{2.9031}$	$L_t = 73.12 \times [1 - e^{-0.35(t+0.86)}]$ $W_t = 7.74 \times [1 - e^{-0.35(t+0.86)}]^{2.9031}$	2.2	2.29
辽宁大伙房水库 Dahufang reservoir in Liaoning province	$W_t = 3.051 \times 10^{-5} L_t^{2.903}$	$L_t = 83.70 \times [1 - e^{-0.263(t-0.321)}]$ $W_t = 11.37 \times [1 - e^{-0.263(t-0.321)}]^3$	4.5	1.72
湖北金沙河水库 Jinshahe reservoir in Hubei province	$W_t = 1 \times 10^{-4} L_t^{2.614}$	$L_t = 112.12 \times [1 - e^{-0.1544(t-0.1371)}]$ $W_t = 14.18 \times [1 - e^{-0.1544(t-0.1371)}]^{2.614}$	5.8	3.96
浙江岩口水库 Yankou reservoir in Zhejiang province	$W_t = 3.328 \times 10^{-5} L_t^{2.812}$	$L_t = 73.591 \times [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]$ $W_t = 5.911 \times [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]^{2.812}$	3.8	1.71

表 4 我国不同区域水库鳙生长参数比较

Tab. 4 Comparison of growth for *A. nobilis* between the different reservoir

名称 name	体长体重关系式 relationship between body length and weight	生长方程 growth equation	生长拐点 inflecting point	
			年龄 /year age	体重 /kg weight
江苏傀儡湖水库 Kuilei reservoir in Jiangsu province	$W_t = 6 \times 10^{-5} L_t^{2.7372}$	$L_t = 94.35 \times [1 - e^{-0.25(t+0.73)}]$ $W_t = 15.26 \times [1 - e^{-0.25(t+0.73)}]^{2.7372}$	3.3	4.4
辽宁大伙房水库 Dahufang reservoir in Liaoning province	$W_t = 3.051 \times 10^{-5} L_t^{2.903}$	$L_t = 95.87 \times [1 - e^{-0.234(t-0.278)}]$ $W_t = 18.35 \times [1 - e^{-0.234(t-0.278)}]^3$	4.5	3.46
湖北金沙河水库 Jinshahe reservoir in Hubei province	$W_t = 2.7 \times 10^{-5} L_t^{2.8705}$	$L_t = 68.53 \times [1 - e^{-0.396(t-0.3239)}]$ $W_t = 5.1 \times [1 - e^{-0.1544(t-0.1371)}]^{2.8705}$	3.0	1.5
浙江岩口水库 Yankou reservoir in Zhejiang province	$W_t = 3.328 \times 10^{-5} L_t^{2.812}$	$L_t = 73.591 [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]$ $W_t = 5.911 [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]^{2.812}$	3.2	2.19

参考文献:

- [1] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
ZHANG J M, HE Z H. Natural fishery resource investigation handbook of inland [M]. Beijing: Agriculture Press, 1991.
- [2] 毛节荣, 徐寿山. 浙江省动物志淡水鱼类[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991.
MAO J R, XU S S. Zhejiang fauna freshwater fishery[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1991.
- [3] MARGALEF R. Information theory in ecology[J]. General Systematics, 1958(3): 36-71.
- [4] LUDWING J A, REYNOLDS J F. Statistical ecology: a primer I methods and computing[M]. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [5] PIELOU E C. Ecological diversity[M]. New York: Wiley, 1975.
- [6] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [C]. California: State of California, Dept of Fish and Game, Fishery Bulletin, 1971.

- [7] 倪勇,朱成德.太湖鱼类志[M].上海:上海科学技术出版社,2005.
NI Y, ZHU C D. Fishes of the Taihu Lake[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2005.
- [8] ROSE G. Migration of freshwater fishes [J]. Fish and Fisheries, 2002, 3(4): 361-362.
- [9] 黄木桂,邱顺林,陈大庆,等.长江三峡水利枢纽与库区渔业资源[J].淡水渔业,1998,28(5):7-9.
HU M G, QIU S L, CHEN D Q, et al. The fishery resource in three gorges reservoir[J]. Freshwater Fishery, 1998, 28(5): 7-9.
- [10] LIERMANN C R, NILSSON C, ROBERTON J, et al. Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity[J]. BioScience, 2012, 62(6): 539-548.
- [11] HAN M, FUKUSHIMA M, FUKUSHIMA T. Species richness of exotic and endangered fishes in Japan's reservoirs [J]. Environmental Biology of Fishes, 2008, 83(4): 409-416.
- [12] SWINKS W D, JACOBS K E. Influence of a Kentucky flood-control reservoir on the tailwater and head water fish populations [J]. North American Journal of Fisheries Management, 1983, 3(2): 197-203.
- [13] 王晓臣,杨兴中,邢娟娟,等.汉江喜河库区形成对鱼类群落结构的影响[J].生态学杂志,2013,32(4):932-937.
WANG X C, YANG X Z, XING J J, et al. Effects of Xihe reservoir construction on fish assemblages in Hanjiang River [J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(4): 932-937.
- [14] 李渭华.浅析生物多样性的价值[J].科研与技术,2003(3):82-85.
LI W H. Analysis of the value of biodiversity [J]. Scientific Research & Management, 2003(3): 82-85.
- [15] MATTHEWS W J. Patterns in freshwater fish ecology [M]. New York: Chapman and Hall Publishers, 1998.
- [16] MAGURRAN A E. Ecological diversity and its measurement [M]. Princeton: Princeton University Press, 1988.
- [17] 侯文华,胡梦红,刘其根.千岛湖刺网渔获物中鱼类群落结构及多样性特征分析[J].上海海洋大学学报,2014,23(6):826-833.
HOU W H, HU M H, LIU Q G. Community structure and diversity of fishes in Qiandao Lake [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(6): 826-833.
- [18] 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.
- [19] JOANNA G, DARIUSZ P, MIROSLAW P, et al. Life-history traits of Amur sleeper, *Perccottus glenii*, in the invaded Vistula River: early investment in reproduction but reduced growth rate [J]. Hydrobiologia, 2011, 661(1): 197-210.
- [20] 赵金奎.增温水体对鲢、鳙的生长、血液及生理指标的影响[J].淡水渔业,2006,36(2):27-30.
ZHAO J K. Effects of Temperature-increasing water on the growth, blood and physiological indices of silver carp and bighead carp [J]. Freshwater Fisheries, 2006, 36(2): 27-30.

Study on the diversity of fish community structure and growth performance of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis* in Yankou Reservoir, Zhejiang Province

YUAN Julin¹, LI Ming², YANG Yuanjie¹, XIN Jianmei¹, LIU Jindian¹, GU Zhimin¹

(1. Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture of Agriculture Ministry, Key Laboratory of Freshwater Aquatic Animal Genetic and Breeding of Zhejiang Province, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, Zhejiang, China; 2. Jinhua Fishery Technical Extension Station, Jinhua 321000, Zhejiang, China)

Abstract: The investigation on fish resources in Yankou reservoir was carried out in March, May, July, September, November 2013 separately, in order to reveal the characterization of fish community, resources status and growth performance of main fish species. 452 fish specimens were measured and identified, which belonged to 5 orders, 8 families and 37 species. Cyprinidae was the largest order, which accounted for 75.7%. Siluriformes accounted for 13.5%, and Perciformes accounted for 5.4%. Salmoniformes and synbranchiformes accounted for 2.7%, respectively. The ecological type analysis revealed that the community was dominated by carnivorous and omnivorous fish. There were 5 dominant fishes by analyzing the index of relative importance, which were *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*, *Hemiculterella wui*, *Culter alburnus* and *Distoechodon tumirostris*. Three diversity indexes including species richness index (D), Shannon-Wiener index (H') and species evenness index (J') were used to analyze diversity characteristics of the fish community. And the values of D , H' and J' varied from 2.09 to 6.05, 0.87 to 1.42 and 0.41 to 0.92 respectively. The growth equation of body length and weight for *H. molitrix* were $L_t = 73.591 [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]$ and $W_t = 5.911 [1 - e^{-0.265(t+0.136)}]^{2.812}$, respectively; and for *A. nobilis* were $L_t = 73.256 [1 - e^{-0.318(t+0.12)}]$ and $W_t = 7.625 [1 - e^{-0.319(t+0.012)}]^{3.07}$, respectively. In Yankou reservoir, *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis* grew relatively fast from 1 to 4 years, and their inflecting point were 3.795 and 3.327, respectively. The most appropriate catching age was 5 years for the two aquatic environmental protection oriented fishes in order to get the best effect on algal bloom control and economic benefit.

Key words: Yankou reservoir; fish community; *Hypophthalmichthys molitrix*; *Aristichthys nobilis*; growth performance; aquatic environmental protection oriented fishery