



# 塘养建鲤背鳍、尾鳍和腹鳍指数的线性体重表征

刘超<sup>1</sup>, 周继术<sup>1</sup>, 王在照<sup>1</sup>, 冯鹏<sup>1</sup>, 吕亚军<sup>1</sup>, 翟国威<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学动物科技学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>宁夏九昇生物研究院, 银川 750003)

**摘要:**【目的】探索塘养建鲤体重与鳍条面积及其重量的关系,为研究鱼类遗传选育及生态分类提供理论参数,或根据鳍条指数确定塘养建鲤的适宜捕捞体重。【方法】剪取塘养建鲤的背鳍、尾鳍和腹鳍,称重后采用叶面积扫描仪直接测定其面积,分别采用线性模型、幂模型、指数模型和多项式模型分析塘养建鲤体重与鳍条面积和鳍条重量的相关性,并以鳍条面积/体重、鳍条重量/体重构建鳍条面积比较指数和鳍条重量比较指数,与体重进行相关回归分析,建立回归方程表征体重与鳍条面积和鳍条重量间的关系。【结果】指数模型、幂模型和线性模型更适宜用于塘养建鲤体重与鳍条面积和鳍条重量的相关回归分析。塘养建鲤体重与鳍条的面积表现出强相关性,且体重与鳍条面积的相关性( $R^2=0.9334\sim 0.9748$ ,平均0.9721)高于体重与鳍条重量的相关性( $R^2=0.9585\sim 0.9634$ ,平均0.9614)。塘养建鲤体重( $x$ )与背鳍面积存在 $y=1.8005x+88.43$ 、与尾鳍面积存在 $y=1.5251x+385.13$ 、与腹鳍面积存在 $y=1.1070x+124.25$ 的线性回归关系。比较指数分析结果表明,背鳍、尾鳍和腹鳍的面积发育拐点体重分别为245.5、638.9和750.0 g;背鳍重量发育拐点体重为468.6 g;尾鳍和腹鳍发育拐点体重及体长、体全长和体重增加拐点体重均为726.8 g。【结论】塘养建鲤体重与鳍条面积及其重量存在显著线性回归关系,通过体重可准确估测背鳍、尾鳍和腹鳍的面积及重量。塘养建鲤背鳍面积的发育早于尾鳍和腹鳍,发育拐点之后体重和肥满度增长加快,塘养建鲤的适宜捕捞体重为726.8 g。

**关键词:** 建鲤; 背鳍; 尾鳍; 腹鳍; 体重; 鳍条面积; 鳍条重量

中图分类号: S965.116

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2020)07-1744-10

## Linear weight characterization of dorsal fin, caudal fin and pelvic fin index of *Cyprinus carpio* Jian in pond

LIU Chao<sup>1</sup>, ZHOU Ji-shu<sup>1</sup>, WANG Zai-zhao<sup>1</sup>, FENG Peng<sup>1</sup>,  
LYU Ya-jun<sup>1</sup>, ZHAI Guo-wei<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Animal Science and Technology, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China; <sup>2</sup>Ningxia Jiu-sheng Biological Institute, Yinchuan 750003, China)

**Abstract:** 【Objective】In order to analyze the relationship among body weight of pond fish, fin ray area and its weight of pond carp, and to provide theoretical indexes for fish genetic breeding and ecological classification, or determining proper fishing weight of the pond carp by its fin ray indexes. 【Method】Firstly, shearing pond carp to raise carp dorsal fin, tail fin and pelvic fin, and then acquiring fins' area with leaf area scanner after weighing. The correlation among body weight of pond fish, fin ray area and fin ray weight was studied through linear model, power model, index model and polynomial model, and regression analysis was conducted using ray area/body weight, fin ray weight/body weight indexes to build fin ray area index and fin ray weight index, a regression equation showing the relation among body weight and fin ray area and fin ray weight was established. 【Result】index model, power model and linear model were suitable for correlation analysis among body weight and fin ray area and fin ray weight. There was close correlation among body weight and fin ray area and fin ray weight of pond carp, and the correlation between body weight and fin ray area ( $R^2=0.9334\sim 0.9748$ , average 0.9721) was higher than that between body weight and fin ray weight ( $R^2=0.9585\sim 0.9634$ , average 0.9614). There was a linear regression relationship between body weight ( $x$ ) and dorsal fin area of pond carp,  $y=1.8005x+88.43$ ; between body weight and caudal fin area,  $y=1.5251x+385.13$ ; between body weight and pelvic fin area,

收稿日期: 2019-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(31870487); 陕西省自然科学基金项目(2017JM3026); 陕西省农业科技创新与攻关项目(2015NY168); 安康市科技计划项目(2019ANK-01)

作者简介: \*为通讯作者, 翟国威(1971-), 副研究员, 主要从事水产资源保护利用研究工作, E-mail: 3131758075@qq.com。刘超(1961-), 研究员, 主要从事水产养殖研究工作, E-mail: liu3chao@tom.com

$y=1.1070x+124.25$ . Indexes analysis showed that, the area of the dorsal fin, caudal fin and pelvic fin development inflection point weight were 245.5, 638.9 and 750.0 g individually. The dorsal fin weight development inflection point was 468.6 g. The caudal fin weight development inflection point, and the body length, total body length and body weight growth inflection points were all 726.8 g. [Conclusion] There is a significant correlation and regression relationship between the body weight of pond carp and the area and weight of fin ray. The area and weight of dorsal fin, caudal fin and pelvic fin can be estimated by body weight. The dorsal fin area of pond carp develops earlier than tail fin and pelvic fin, and the growth of body weight and fat-mando accelerate after the turning point of development. The suitable fishing weight of pond carp is 726.8 g.

**Key words:** carp(*Cyprinus carpio* var Jian); dorsal fin; tail fin; pelvic fin; body weight; fin ray area; fin ray weight

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(31870487); Shaanxi Natural Science Foundation(2017JM3026); Shaanxi Agricultural Science and Technology Innovation Project(2015NY168); Ankang Science and Technology Plan Project(2019NK-01)

## 0 引言

【研究意义】鱼鳍是鱼类的运动和平衡器官,兼有摄食和生殖功能(熊建新等,2004;吕国敏等,2015),也是鱼类再生能力最强的器官(邵金辉和许增禄,2009)。其中,背鳍(Dorsal fin)维持游泳的平衡性,腹鳍(Pelvic fin)维持垂直方向的位置定位,尾鳍(Tail fin)提供躯体前行动力和掌控游泳方向。同种鱼类在不同地理环境下的鱼鳍面积和厚度代表了不同生态类型,且这种变迁累积效应可导致鱼鳍的成肢体演化(张晓娟等,2017)。鳍条是鱼类选育过程中遗传进展测度的重要参数,其面积和重量(厚度)的变化通过改变游泳速度和摄食能力而影响体重增长。体重是鱼类选育时简单直观且准确性最高的测量指标,以鳍条的面积和重量与体重之比构建鳍条指数,进而估测鳍条面积、厚度和重量,可有效弥补鳍条测量中取样难、准确性低的缺陷,为鱼类遗传研究提供必要的理论参数。【前人研究进展】至今,针对鱼鳍的相关研究已有较多报道。李芝旭(2003)采用局部麻醉法观察鱼鳍的作用,结果证实各类鱼鳍都是在神经调节支配下,相互协调一致完成鱼类在水中的正常游泳运动;李秀明等(2013)采用图像处理技术测算中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis* Bleeker)的鳍条面积;刘明中等(2014)研究表明,切除背鳍、臀鳍对唐鱼(*Tanichthys albonubes*)游泳能力没有影响,但切除尾鳍对其游泳能力产生极显著影响,进而影响鱼体增重;李江涛等(2016)利用图像处理技术研究唐鱼鳍条面积的形态变化及其与游泳能力的关系,并延伸测算鱼体增重与鳍条面积的关系;李秀明等(2016)研究发现,不同鱼鳍具有不同的功能,其中尾鳍损伤会降低鱼类摄食准确性和摄食量,最终导致饥饿鲤鱼的鳍条面积缩小;扬红喜等(2017)研究证实,利用鳍条组织作为血液和生殖细胞的替代材料进行流式细胞试验具有可行性,为鱼

类生物学研究尤其是鱼类遗传育种及基因组学分析等提供了新思路;江建军等(2019)利用鳍条对北太平洋长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)进行年龄鉴定和生长分析,并首次采用3种不同的切割位置来探求最佳切割方式,旨在探索出符合长鳍金枪鱼年龄鉴定的最佳方法。鱼鳍还可作为鱼类增殖放流的载标工具,该项技术始于19世纪20年代,现已发展成为最基本的标志技术(张堂林等,2003)。但也有研究认为这种损伤会影响鱼类的能量利用效率及游泳能力,进而影响体重增长(杨晗等,2013);剪除腹鳍后鱼体的垂直定位能力丧失(李江涛等,2016);在增殖放流标记中拔除背鳍则导致鱼体水平面上左右摇摆,出现转圈运动(张雪等,2013)。【本研究切入点】以现有的图像处理法测度鱼类鳍条面积时,存在所得照片的标记特征不易发现,而人为矫正后的测度值准确性低等缺陷。因此,有必要确定鱼类鳍条与其体重的关系,解决鱼类体重与鳍条面积的相关估测问题。【拟解决的关键问题】以鱼类易于测度、方便表达、准确性高的体重测定为切入点,通过鳍条离体剪切、直接扫描测取鳍条的面积和重量,建立体重与鳍条参数的相关回归方程,探索鱼类体重与鳍条面积及鳍条重量的关系,为研究鱼类遗传选育及生态分类提供理论参数,或根据鳍条参数确定塘养鲤鱼的适宜捕捞体重。

## 1 材料与方 法

### 1.1 体 重 体 尺 测 定

随机收集2017—2018年西北农林科技大学安康水产试验示范站各池塘不同鱼龄的建鲤(*Cyprinus carpio* var Jian)206尾,现场测定体重及体尺后,剪取背鳍、尾鳍和腹鳍,用吸水纸吸取表面水分,清除体表水渍后称重测量。测定样本鱼出水后死亡时间不超过3 min,其背鳍鳍式为D.Ⅲ~Ⅳ-17~22,尾鳍鳍式为C.20~22,腹鳍鳍式为V.Ⅱ-8~9。

## 1.2 鳍条面积测定

从鳍条与鱼体的基部剪取建鲤尾鳍、背鳍和腹鳍,利用鳍条黏性展开平摊于Yaxin-1242叶面积测定仪(北京雅欣理仪科技有限公司)刻度板上,覆盖透明覆盖膜(Yaxin-1242叶面积测定仪自带)后用LCD缓慢扫描,读取LCD存贮数据,现场记录体重、体尺及鳍条的重量和面积。建鲤的背鳍、腹鳍为软鳍,出水后一般呈闭合收缩状态,需人工张开到鳍条鳍脉间呈自然展开状态,再扫描测定面积。需要注意的是,剪鳍环节固定一人操作,以鳍条的软骨为基准,剪切起点定为鱼体基部的第一节软骨下沿,沿鳍条与鱼体结合的基部按鱼体走势剪切。剪切下的鱼鳍固定一人操作,展开放到扫描仪刻度板上,以鳍条展开后通过鳍条鳍脉间的软骨能目视到刻度板上的红色刻度线为标准。

## 1.3 数据处理

整理记录资料,按照背鳍、腹鳍、尾鳍的面积和重量分类,使用Excel 2013进行相关分析,建立建鲤鳍条面积与体重的回归方程,其中腹鳍采用单侧鳍条测定数据值。按照鳍条面积(mm<sup>2</sup>)/体重(g)计算鳍条面积比较指数,按照鳍条重量(mg)/体重(g)计算鳍条重量比较指数,按照体尺(cm)/体重(g)计算体尺比较指数:

鳍条面积比较指数=鳍条面积(mm<sup>2</sup>)/体重(g)

鳍条重量比较指数=鳍条重量(mg)/体重(g)

体长比较指数=体长(cm)/体重(g)

体全长比较指数=体全长(cm)/体重(g)

鳍条厚度比较指数=鳍条重量(mg)/鳍条面积(mm<sup>2</sup>)

肥满度(%)=体重(g)/体长(cm)<sup>3</sup>×100

## 2 结果与分析

### 2.1 塘养建鲤体重及鳍条重量和面积的测定结果

按体重将206尾建鲤样本分为74组,平均每组2.78尾,平均体重315.44 g,平均体长22.44 cm,平均体全长25.74 cm(表1)。背鳍重量为112.7~1784.6 mg,平均790.75 mg;尾鳍重量为157.4~1812.3 mg,平均823.87 mg;腹鳍重量为98.7~921.2 mg,平均483.08 mg。背鳍面积为221.4~1584.6 mm<sup>2</sup>,平均656.39 mm<sup>2</sup>;尾鳍面积为297.0~1657.8 mm<sup>2</sup>,平均866.20 mm<sup>2</sup>;腹鳍(单侧)面积为134.3~831.4 mm<sup>2</sup>,平均471.77 mm<sup>2</sup>。在塘养建鲤背鳍、尾鳍和腹鳍中,尾鳍面积和尾鳍重量的平均值均最大,说明尾鳍在鱼体机能中的动力源作用高于背鳍的平衡作用;背鳍重量和背鳍面积的平均值均大于单侧腹鳍,但腹鳍

双侧的鳍条重量和面积总和大于背鳍,说明建鲤在水中垂直定位平衡优于水平定位平衡。

### 2.2 相关分析和回归分析结果

由于对数模型是幂模型的逆运算,本研究以线性模型、幂模型、指数模型和多项式模型分别分析塘养建鲤体重与鳍条面积和鳍条重量的相关性,建立模型回归方程,结果见表2。

2.2.1 应用模型分析结果 由表2可看出,相关系数( $R^2$ )平均值最高的是多项式模型,其次是幂模型和线性模型,指数模型的 $R^2$ 最低,说明在塘养建鲤体尺体重与鳍条面积和鳍条重量的分析模型中,指数模型的适合度低于其他模型。

依据模型方程计算鳍条重量、鳍条面积及体尺理论值,与实际测定值进行拟合检验,并计算拟合度( $R$ ):

$$R=1-[\sum(x-x_1)^2/\sum x_1^2]^{1/2}$$

式中, $x$ 为鳍条重量、鳍条面积和体尺的理论值, $x_1$ 为实际测定值。

由表3可看出,指数模型的 $R$ 平均值(0.9931)最高,其中,体长 $R$ 达0.9978,背鳍重量 $R$ 达0.9995,背鳍面积 $R$ 达0.9971。其次是幂模型和线性模型,幂模型中的体长 $R$ 达0.9972,腹鳍重量 $R$ 达0.9916,尾鳍面积 $R$ 达0.9971;线性模型中,除背鳍面积 $R$ (0.8473)较低外,其余指标的 $R$ 均在0.9770以上。多项式模型的 $R$ 相对较低,主要是体长 $R$ 只有0.1474,严重影响该模型的整体拟合效果,多项式模型中的腹鳍重量 $R$ 为0.9971,腹鳍面积 $R$ 为0.9883。可见,指数模型、幂模型和线性模型更适宜用于塘养建鲤体重与鳍条面积和鳍条重量的相关回归分析。

2.2.2 相关分析结果 以线性模型进行 $R^2$ 的显著性检验,结果(表4)显示,塘养建鲤的背鳍、尾鳍和腹鳍间在重量和面积上存在极强相关性( $R^2>0.9100$ ),其中,背鳍重量与尾鳍重量的相关性最强( $R^2=0.9899$ ),而背鳍重量与腹鳍重量的相关性最弱( $R^2=0.8681$ )。塘养建鲤的体长和体全长随其体重的增加而增长,鳍条重量和鳍条面积也随体重的增加而增大。

塘养建鲤体重与鳍条的重量和面积表现出强相关性,其中体重与鳍条面积的相关性( $R^2=0.9695\sim 0.9748$ ,平均0.9721)高于体重与鳍条重量的相关性( $R^2=0.9585\sim 0.9634$ ,平均0.9614),与体尺也存在极强相关性( $R^2=0.9334\sim 0.9515$ )。体重与腹鳍面积的相关性最强( $R^2=0.9748$ ),而与背鳍重量的相关性( $R^2=0.9585$ )弱于与其他鳍条的重量和面积,与王新安等(2008)的研究结果一致。 $R^2$ 显著性检验结果表

表 1 塘养建鲤体重体尺、鳍条重量及鳍条面积的测定结果

Table 1 Measurement results of body weight, fin ray weight and fin ray area of pond carp

序号 No.	Body weight and body measurements			Weight of fin ray			Area of fin ray			数量(尾) Number (carp)
	体重(g) Body weight	体长(cm) Body length	体全长(cm) Total body length	背鳍 Dorsal fin	尾鳍 Tail fin	腹鳍 Pelvic fin	背鳍 Dorsal fin	尾鳍 Tail fin	腹鳍 Pelvic fin	
1	28.4	10.2	10.8	112.7	157.4	98.7	221.4	297.0	134.4	3
2	30.2	10.4	11.4	116.2	189.3	110.2	228.3	350.5	137.6	3
3	35.2	10.8	11.9	120.6	192.4	114.6	235.4	362.6	139.7	2
4	38.7	11.8	13.0	145.4	211.2	120.4	243.1	378.4	147.9	1
5	42.6	12.4	13.6	170.9	230.6	126.6	252.8	394.3	156.0	4
6	47.4	12.8	14.1	196.4	249.5	132.3	257.7	410.2	164.6	5
7	53.6	13.5	14.8	223.2	268.8	138.5	262.5	426.5	173.4	2
8	59.4	13.8	15.2	250.1	287.9	144.2	272.0	442.6	181.2	1
9	64.8	14.0	15.4	275.1	306.7	150.4	276.9	458.7	189.3	3
10	72.9	14.2	15.7	301.8	325.6	156.1	281.8	474.8	197.5	4
11	77.1	14.5	15.9	326.5	345.1	162.4	289.5	490.8	205.1	3
12	81.5	14.6	16.1	351.8	364.3	168.3	299.2	506.3	213.3	3
13	88.7	14.9	16.8	378.3	383.5	174.5	304.0	523.0	221.4	3
14	92.6	15.3	17.2	403.7	402.8	180.7	308.9	538.2	229.6	3
15	102.4	15.4	17.5	430.1	421.6	186.3	318.6	554.9	237.8	2
16	113.1	15.7	17.8	456.2	441.4	192.2	323.4	570.8	245.9	1
17	128.9	16.6	18.2	481.0	461.0	198.5	328.2	586.6	254.1	3
18	130.2	16.8	18.6	506.7	479.3	204.4	335.4	602.7	262.2	2
19	134.0	17.3	19.6	532.3	498.0	210.2	343.1	618.9	270.4	3
20	138.8	17.4	20.1	549.7	511.0	214.0	352.7	621.2	274.3	4
21	142.9	17.6	20.4	558.9	514.1	217.5	357.5	623.3	278.9	5
22	148.4	17.7	20.9	569.1	517.7	220.9	362.3	626.1	283.5	4
23	157.6	17.9	21.4	570.8	521.0	224.4	372.1	628.5	287.8	4
24	162.5	18.2	21.7	577.4	524.4	227.8	376.9	630.9	291.7	3
25	176.3	18.9	22.6	583.8	531.2	253.2	381.8	681.6	329.4	3
26	189.2	19.1	23.5	587.0	565.3	277.0	389.5	721.8	336.9	2
27	194.4	19.6	24.7	590.2	581.9	292.1	399.1	746.8	358.6	1
28	209.6	19.9	24.7	598.1	589.6	322.5	403.9	792.3	366.0	2
29	216.3	20.3	24.8	599.5	591.7	330.0	408.7	795.6	374.4	3
30	224.4	20.8	25.1	603.8	593.4	337.5	418.4	798.9	383.8	3
31	238.7	21.3	25.3	609.7	594.8	345.2	423.3	802.1	388.3	3
32	245.5	21.5	25.7	611.5	596.8	352.9	428.1	805.4	401.5	2
33	255.5	22.4	25.9	638.8	616.6	375.6	448.4	827.1	408.8	4
34	260.9	22.8	26.1	676.6	629.6	415.2	468.7	842.4	414.2	5
35	271.6	23.5	26.3	692.2	647.5	435.4	489.0	870.1	420.4	3
36	288.7	23.6	26.6	708.7	665.8	455.5	509.3	897.8	426.5	2
37	290.2	23.7	26.8	712.2	691.5	468.9	529.6	907.6	432.1	3
38	299.8	23.9	27.2	719.8	710.8	478.7	549.9	915.4	436.3	3
39	308.6	24.0	27.3	721.8	730.1	489.0	570.2	923.1	440.5	2
40	314.9	24.1	27.5	723.2	749.4	498.9	590.5	930.8	444.7	2
41	321.8	24.1	27.9	728.9	768.7	509.1	610.8	938.6	448.9	3
42	338.1	24.2	27.9	739.8	798.9	533.5	631.1	948.7	467.8	3
43	347.8	24.3	28.3	757.3	814.3	547.7	651.4	953.3	477.3	3
44	355.1	24.5	28.7	769.7	829.5	557.8	671.7	958.7	486.7	2
45	364.7	24.8	29.2	794.2	854.1	607.4	692.0	969.4	543.8	4
46	378.2	25.1	29.4	804.4	865.2	632.8	712.3	971.8	566.6	5
47	387.1	25.4	29.6	816.8	870.5	645.6	732.6	972.9	578.0	4
48	394.4	25.6	30.1	826.3	876.3	658.3	752.9	974.2	589.4	3
49	399.5	25.9	30.8	858.2	893.0	674.6	774.5	986.8	623.3	2
50	412.2	26.1	30.9	864.0	921.2	701.7	796.2	990.3	631.1	3
51	422.7	26.1	31.0	876.4	934.7	715.3	819.6	993.9	634.9	3
52	436.4	26.2	31.0	887.5	948.6	728.8	848.9	997.4	637.1	3
53	448.2	26.2	31.1	912.3	957.8	742.6	863.4	1005.5	652.9	2
54	456.4	26.3	31.3	919.4	977.7	749.5	878.3	1009.6	665.7	3
55	468.6	26.3	31.5	924.7	997.2	756.4	907.8	1013.6	675.3	4
56	473.8	27.2	31.5	968.3	1047.2	768.7	922.3	1032.4	684.6	3
57	479.3	28.2	31.6	998.8	1054.8	786.6	936.7	1046.8	689.9	3
58	489.3	28.8	31.8	1169.7	1208.9	790.4	960.1	1056.2	707.5	2
59	497.7	28.9	32.0	1247.1	1364.5	794.1	989.7	1065.8	725.3	1

续表 1 塘养建鲤体重体尺、鳍条重量及鳍条面积的测定结果

Continued Table 1 Measurement results of body weight and body measurements, fin ray weight and fin ray area of pond carp

序号 No.	体重体尺 Body weight and body measurements			鳍条重量(mg) Weight of fin ray			鳍条面积(mm <sup>2</sup> ) Area of fin ray			数量(尾) Number (carp)
	体重(g) Body weight	体长(cm) Body length	体全长(cm) Total body length	背鳍 Dorsal fin	尾鳍 Tail fin	腹鳍 Pelvic fin	背鳍 Dorsal fin	尾鳍 Tail fin	腹鳍 Pelvic fin	
60	516.3	29.0	32.2	1277.2	1398.6	797.3	1004.3	1093.7	741.1	2
61	528.9	29.1	32.3	1298.6	1424.1	799.6	1018.9	1124.5	752.4	3
62	537.1	29.3	32.4	1324.5	1449.6	801.9	1048.3	1135.8	763.6	2
63	548.3	29.4	32.7	1349.3	1475.1	804.4	1062.7	1156.6	774.9	1
64	550.0	29.5	33.1	1354.9	1500.7	806.7	1077.6	1177.8	786.0	3
65	566.5	29.8	33.2	1413.9	1573.3	818.4	1128.3	1221.3	789.2	2
66	589.6	29.9	33.6	1461.6	1591.2	827.1	1179.4	1253.9	792.1	2
67	621.3	30.2	33.8	1498.2	1609.6	835.8	1229.7	1286.6	795.3	3
68	638.9	30.5	34.5	1543.7	1642.5	844.1	1281.2	1319.3	795.9	2
69	643.3	30.6	35.3	1574.7	1675.4	853.3	1331.1	1351.9	798.5	1
70	672.4	31.2	35.8	1598.8	1688.5	861.4	1394.5	1427.9	806.8	2
71	689.2	31.3	36.4	1681.4	1719.1	876.7	1442.0	1485.3	812.7	3
72	726.8	31.8	37.6	1742.2	1750.6	891.3	1489.3	1542.7	819.1	3
73	736.4	32.6	38.8	1766.3	1781.7	906.1	1536.9	1601.1	825.5	3
74	750.0	33.4	39.6	1784.6	1812.3	921.2	1584.6	1657.8	831.4	4
平均 Average	315.44	22.44	25.74	790.75	823.87	483.08	656.39	866.20	471.77	2.78

腹鳍均为单侧数据

Pelvic fin data were detected from one side

表 2 塘养建鲤体重与鳍条面积和鳍条重量的回归方程

Table 2 Regression equation between body weight and fin ray area and fin ray weight in pond carp

项目 Item	线性模型 Linear model	幂模型 Power model	指数模型 Index model	多项式模型 Polynomial model
体重与背鳍面积 Body weight and dorsal fin area	$y=1.8006x+88.40$ ( $R^2=0.9720$ )	$y=19.71x^{0.6135}$ ( $R^2=0.8976$ )	$y=234.81e^{0.0028x}$ ( $R^2=0.9885$ )	$y=0.0015x^2+0.7686x+270.54$ ( $R^2=0.9967$ )
体重与尾鳍面积 Body weight and tail fin area	$y=1.5252x+385.14$ ( $R^2=0.9695$ )	$y=69.13x^{0.4500}$ ( $R^2=0.9810$ )	$y=449.69e^{0.0018x}$ ( $R^2=0.9013$ )	$y=-0.0002x^2+1.6403x+371.80$ ( $R^2=0.9700$ )
体重与腹鳍面积 Body weight and pelvic fin area	$y=1.0897x+128.02$ ( $R^2=0.9748$ )	$y=13.98x^{0.6203}$ ( $R^2=0.9801$ )	$y=184.03e^{0.0026x}$ ( $R^2=0.9084$ )	$y=-0.0006x^2+1.4971x+80.99$ ( $R^2=0.9854$ )
体重与背鳍重量 Body weight and dorsal fin weight	$y=2.1010x+128.33$ ( $R^2=0.9583$ )	$y=11.37x^{0.7438}$ ( $R^2=0.9594$ )	$y=257.71e^{0.0030x}$ ( $R^2=0.8353$ )	$y=0.0010x^2+1.3888x+210.50$ ( $R^2=0.9668$ )
体重与尾鳍重量 Body weight and tail fin weight	$y=2.2417x+116.70$ ( $R^2=0.9634$ )	$y=16.12x^{0.6894}$ ( $R^2=0.9618$ )	$y=278.35e^{0.0029x}$ ( $R^2=0.9233$ )	$y=0.0011x^2+1.4299x+210.43$ ( $R^2=0.9732$ )
体重与腹鳍重量 Body weight and pelvic fin weight	$y=1.3092x+70.11$ ( $R^2=0.9624$ )	$y=5.85x^{0.7715}$ ( $R^2=0.9643$ )	$y=144.23e^{0.0032x}$ ( $R^2=0.8950$ )	$y=-0.0009x^2+1.9331x-1.92$ ( $R^2=0.9793$ )
体重与体长 Body weight and body length	$y=0.0299x+12.91$ ( $R^2=0.9515$ )	$y=3.12x^{0.3528}$ ( $R^2=0.9933$ )	$y=13.68e^{0.0014x}$ ( $R^2=0.8768$ )	$y=-3E-0.5x^2+0.0516x+10.43$ ( $R^2=0.9903$ )
体重与体全长 Body weight and total body length	$y=0.0348x+14.82$ ( $R^2=0.9334$ )	$y=3.28x^{0.3691}$ ( $R^2=0.9930$ )	$y=15.51e^{0.0015x}$ ( $R^2=0.8439$ )	$y=-4E-0.5x^2+0.0626x+11.56$ ( $R^2=0.9799$ )
R <sup>2</sup> 平均值 Average R <sup>2</sup>	0.9607	0.9663	0.8966	0.9802

表 3 各应用模型对塘养建鲤体尺、鳍条面积和鳍条重量的拟合度(R)

Table 3 The fitting degree(R) of each applied model to the body measurements, fin ray area and fin ray weight of pond culture carp

应用模型 Applied model	鳍条面积 Fin ray area			鳍条重量 Fin ray weight			鱼体体尺 Body measurements		平均值 Average
	背鳍 Dorsal fin	尾鳍 Tail fin	腹鳍 Pelvic fin	背鳍 Dorsal fin	尾鳍 Tail fin	腹鳍 Pelvic fin	体长 Body length	体全长 Total body length	
多项式模型 Polynomial model	0.7045	0.8929	0.9883	0.9877	0.9755	0.9971	0.1474	0.8703	0.8206
指数模型 Index model	0.9971	0.9968	0.9970	0.9995	0.9835	0.9863	0.9978	0.9866	0.9931
线性模型 Linear model	0.8473	0.9965	0.9902	0.9877	0.9771	0.9918	0.9998	0.9943	0.9731
幂模型 Power model	0.9474	0.9971	0.9660	0.9814	0.9633	0.9916	0.9972	0.9964	0.9801
平均值 Average	0.8741	0.9708	0.9854	0.9891	0.9749	0.9917	0.7856	0.9619	0.9420

明,塘养建鲤体尺与鳍条面积和鳍条重量间呈极显著相关( $P<0.01$ ),说明塘养建鲤作为生物整体,其各部的生长发育存在内在的协调生长功能,与野生鲤鱼在体形特征上无明显差异。

### 2. 2. 3 回归分析结果

在表2的线性模型回归方程中,鳍条面积取mm<sup>2</sup>,所得体重单位为g;鳍条重量单位取mg,所得体重单位为g。以相关性最强的体重与腹鳍面积及相关性最弱的体重与背鳍重量为例进行分析,当体重为102.4 g时,单侧腹鳍面积 $y=1.0897 \times 102.40 + 128.02 = 239.61$  mm<sup>2</sup>,与实测结

表 4 塘养建鲤体重与鳍条重量和鳍条面积的线性相关系数( $R^2$ )Table 4 Linear correlation coefficient( $R^2$ ) between body weight and fin ray weight and fin ray area of pond carp

项目 Item	鳍条面积 Fin ray area			鳍条重量 Fin ray weight			体尺 Body measurements		
	腹鳍	尾鳍	背鳍	腹鳍	尾鳍	背鳍	体全长	体长	
	Pelvic fin	Tail fin	Dorsal fin	Pelvic fin	Tail fin	Dorsal fin	Total body length	Body length	
鳍条面积 Fin ray area	尾鳍 Tail fin	0.9183							
	背鳍 Dorsal fin	0.9234	0.9246						
	腹鳍 Pelvic fin	0.9853	0.9012	0.9067					
鳍条重量 Fin ray weight	尾鳍 Tail fin	0.9338	0.9254	0.9692	0.8911				
	背鳍 Dorsal fin	0.9196	0.9458	0.9569	0.8681	0.9899			
体全长 Total body length		0.9354	0.9532	0.8730	0.9263	0.8518	0.8704		
体长 Body length		0.9584	0.9529	0.8621	0.9505	0.8878	0.8967	0.9870	
体重 Body weight		0.9748	0.9695	0.9720	0.9624	0.9634	0.9585	0.9334	0.9515

果(237.8 mm<sup>2</sup>)接近。若通过腹鳍面积获得塘养建鲤体重,可从回归方程中解出 $x=(y-128.02)/1.0897$ ,代入实测单侧腹鳍面积,可求得体重测算值,即 $y=578.00$  mm<sup>2</sup>,则 $x=(578.00-128.02)/1.0897=412.94$  g,接近实测所得的387.1 g。当体重为516.3 g时,背鳍重量为 $y=2.0996 \times 516.3 + 128.43 = 1212.45$  mg,接近实际测定的1277.2 mg。经反复验证表明,上述公式以体重测算鳍条面积的准确性较高,但以鳍条面积测算体重时,当实际体重超过400.0 g后准确性较差;以体重测算鳍条的重量所得测算值准确性较高。

### 2.3 比较指数分析结果

2.3.1 鳍条面积比较指数、鳍条重量比较指数和鳍条厚度比较指数 由图1可看出,随着塘养建鲤体重的增加,鳍条面积比较指数呈下降趋势,且这种趋势在体重209.6 g(序号28)前下降速度较快,其后趋于稳定,说明在塘养建鲤幼鱼期鳍条面积占体重的比例较高,之后所占比例趋于稳定,也表明鳍条面积在塘养建鲤苗种期的生长发育过程中优先发育。塘养建鲤的鳍条重量比较指数呈线性下降趋势(图2),但在体重238.7~489.3 g(序号31~序号58)区间下降速度减缓,其后出现短暂的上升再逐渐下降,表明在体重489.3 g后鳍条重量增长速度加快。塘养建鲤的鳍条厚度比较指数整体上呈上升趋势(图3),表明塘养建鲤随着体重的增加,其鳍条厚度不断增加,在体重489.3 g(序号58)时鳍条厚度快速增加随后逐步下降,但第二次生长发育的厚度绝对值高于第一次生长发育。此外,根据鳍条面积比较指数和鳍条重量比较指数的曲线变化趋势,可确定塘养建鲤背鳍、尾鳍和腹鳍的面积发育拐点体重分别为245.5、638.9和750.0 g,而对应的鳍条重量发育拐点体重分别为468.6、726.8和726.8 g。

2.3.2 体尺比较指数 塘养建鲤的体长比较指数和体全长比较指数均呈下降趋势(图4)。体尺与体重相比,随着体重的增加,体尺所占体重的比例越来越小,在体形上表现为先瘦长(长条形)后肥胖(矩

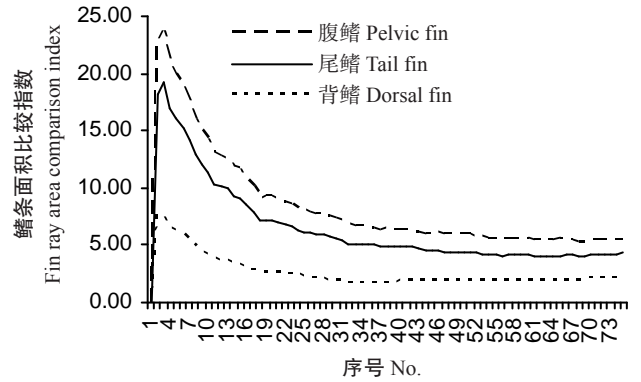


图 1 塘养建鲤鳍条面积比较指数的变化趋势

Fig.1 Variation trend of fin ray area comparison index of pond carp

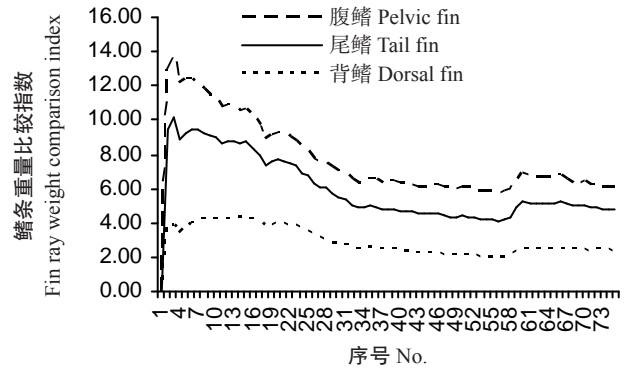


图 2 塘养建鲤鳍条重量比较指数的变化趋势

Fig.2 Variation trend of fin ray weight comparison index of pond carp

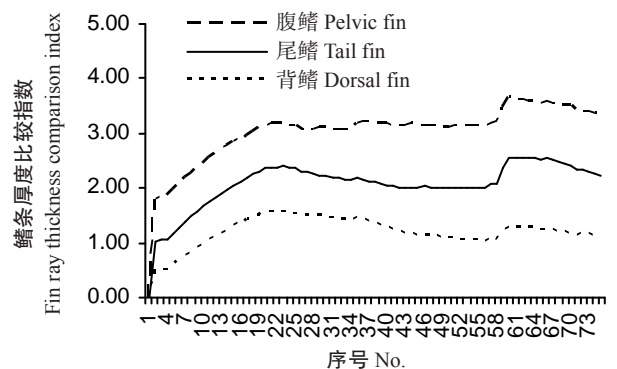


图 3 塘养建鲤鳍条厚度比较指数的变化趋势

Fig.3 Variation trend of fin ray thickness comparison index of pond carp

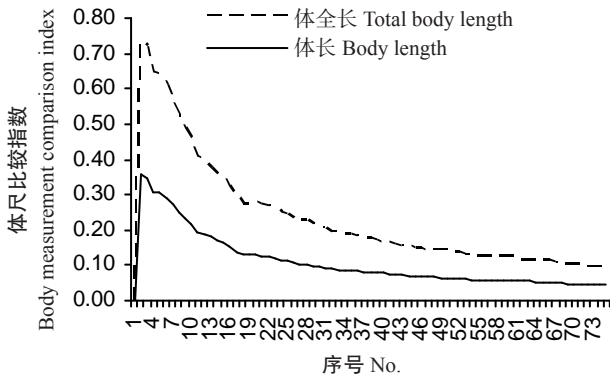


图 4 塘养建鲤体尺比较指数的变化趋势  
Fig.4 Variation trend of body measurement comparison index of pond carp

形),且在鳍条发育中以鳍条面积优先发育,而后重量发育,在鱼类形态上表现为先长框架后长肌肉。综合图3来看,体全长的发育早于体长发育,且在体重134.0 g(序号19)时体尺比较指数下降速度减缓。体长比较指数的变化趋势与体全长比较指数基本相同,仅在体重134.0 g前体长比较指数下降速度弱于体全长比较指数。根据体尺比较指数的曲线变化趋势,可确定塘养建鲤的体长和体全长发育拐点体重均为726.8 g。

2. 3. 3 肥满度分析 塘养建鲤的肥满度介于2.01%~2.92%,随着体重的增加其肥满度呈下降趋势,当体重为28.4~750.0 g时塘养建鲤的肥满度平均为2.40%,高于黄玉瑶等(1981)报道的官厅水库鲤肥满度,但低于张亮等(2017)报道的野生黄河鲤肥满度,说明建鲤在塘养条件下发生了适应性生长和生态变迁(Hanson et al., 2007)。

2. 3. 4 鳍条间的重量指数和面积指数 塘养建鲤

鳍条间的重量指数(重量/重量)和面积指数(面积/面积)见表5。由表5可知,当塘养建鲤体重在28.4~750.0 g的范围内,背鳍/尾鳍的重量指数为0.614~1.101,平均0.955,即背鳍重量与尾鳍重量基本一致;背鳍/尾鳍的面积指数为0.510~0.985,平均0.712,即背鳍面积小于尾鳍面积;背鳍与尾鳍的重量指数和面积指数呈现较规律的变化,表现为前低—中高—后低的趋势,在体重达92.6 g(序号14)前背鳍重量小于尾鳍重量,在体重92.6~299.8 g间背鳍重量大于尾鳍重量,在体重大于299.8 g(序号38)后背鳍重量小于尾鳍重量。背鳍面积始终小于尾鳍面积,但在体重大达209.6 g(序号28)前背鳍/尾鳍的面积指数呈逐步降低趋势,随后又逐步上升,且上升幅度较大,达峰值(0.985)后又开始下降。

腹鳍与尾鳍比较,其重量指数为0.419~0.775,平均0.578,即单侧腹鳍重量占尾鳍重量的比例接近60%,若计算双侧腹鳍重量,则腹鳍重量大于尾鳍重量,约是尾鳍重量的1.2倍。腹鳍/尾鳍的面积指数为0.385~0.681,在体重394.4~638.9 g(序号48~序号68)的范围内,单侧腹鳍面积占尾鳍面积的60%以上。当塘养建鲤体重在28.4~750.0 g的范围内,腹鳍/尾鳍的面积指数呈中间高两头低的变化趋势。

腹鳍与背鳍比较,其重量指数为0.388~0.950,平均0.616,即单侧腹鳍重量占背鳍重量的比例高于60%,若计算双侧腹鳍重量,则腹鳍重量大于背鳍重量,约是背鳍重量的1.2倍,整体上呈波浪式变化,最小值出现在体重148.4 g(序号22),表明此时腹鳍的相对重量最小(质地薄);最大值出现在体重35.2 g(序号3),表明此时腹鳍相对背鳍的重量最大(质地

表 5 塘养建鲤鳍条间的重量指数和面积指数

Table 5 Comparison of weight index and area index between fin rays of pond carp

序号 No.	重量指数 Weight index			面积指数 Area index		
	背鳍/尾鳍 Dorsal fin/tail fin	腹鳍/尾鳍 Pelvic fin/tail fin	腹鳍/背鳍 Pelvic fin/dorsal fin	背鳍/尾鳍 Dorsal fin/tail fin	腹鳍/尾鳍 Pelvic fin/tail fin	腹鳍/背鳍 Pelvic fin/dorsal fin
1	0.716	0.627	0.876	0.745	0.453	0.607
2	0.614	0.582	0.948	0.651	0.393	0.603
3	0.627	0.596	0.950	0.649	0.385	0.593
4	0.688	0.570	0.828	0.642	0.391	0.608
5	0.741	0.549	0.741	0.641	0.396	0.617
6	0.787	0.530	0.674	0.628	0.401	0.639
7	0.830	0.515	0.621	0.615	0.407	0.661
8	0.869	0.501	0.577	0.615	0.409	0.666
9	0.897	0.490	0.547	0.604	0.413	0.684
10	0.927	0.479	0.517	0.594	0.416	0.701
11	0.946	0.471	0.497	0.590	0.418	0.708
12	0.966	0.462	0.478	0.591	0.421	0.713
13	0.986	0.455	0.461	0.581	0.423	0.728
14	1.002	0.449	0.448	0.574	0.427	0.743
15	1.020	0.442	0.433	0.574	0.429	0.746
16	1.034	0.435	0.421	0.567	0.431	0.760

续表 5 塘养建鲤鳍条间的重量指数和面积指数

Continued Table 5 Comparison of weight index and area index between fin rays of pond carp

序号 No.	重量指数 Weight index			面积指数 Area index		
	背鳍/尾鳍	腹鳍/尾鳍	腹鳍/背鳍	背鳍/尾鳍	腹鳍/尾鳍	腹鳍/背鳍
	Dorsal fin/tail fin	Pelvic fin/tail fin	Pelvic fin/dorsal fin	Dorsal fin/tail fin	Pelvic fin/tail fin	Pelvic fin/dorsal fin
17	1.043	0.431	0.413	0.559	0.433	0.774
18	1.057	0.426	0.403	0.556	0.435	0.782
19	1.069	0.422	0.395	0.554	0.437	0.788
20	1.076	0.419	0.389	0.568	0.442	0.778
21	1.087	0.423	0.389	0.574	0.447	0.780
22	1.099	0.427	0.388	0.579	0.453	0.783
23	1.096	0.431	0.393	0.592	0.458	0.773
24	1.101	0.434	0.395	0.597	0.462	0.774
25	1.099	0.477	0.434	0.560	0.483	0.863
26	1.038	0.490	0.472	0.540	0.467	0.865
27	1.014	0.502	0.495	0.534	0.480	0.899
28	1.014	0.547	0.539	0.510	0.462	0.906
29	1.013	0.558	0.550	0.514	0.471	0.916
30	1.018	0.569	0.559	0.524	0.480	0.917
31	1.025	0.580	0.566	0.528	0.484	0.917
32	1.025	0.591	0.577	0.532	0.499	0.938
33	1.036	0.609	0.588	0.542	0.494	0.912
34	1.075	0.659	0.614	0.556	0.492	0.884
35	1.069	0.672	0.629	0.562	0.483	0.860
36	1.064	0.684	0.643	0.567	0.475	0.837
37	1.030	0.678	0.658	0.584	0.476	0.816
38	1.013	0.673	0.665	0.601	0.477	0.793
39	0.989	0.670	0.677	0.618	0.477	0.773
40	0.965	0.666	0.690	0.634	0.478	0.753
41	0.948	0.662	0.698	0.651	0.478	0.735
42	0.926	0.668	0.721	0.665	0.493	0.741
43	0.930	0.673	0.723	0.683	0.501	0.733
44	0.928	0.672	0.725	0.701	0.508	0.725
45	0.930	0.711	0.765	0.714	0.561	0.786
46	0.930	0.731	0.787	0.733	0.583	0.795
47	0.938	0.742	0.790	0.753	0.594	0.789
48	0.943	0.751	0.797	0.773	0.605	0.783
49	0.961	0.755	0.786	0.785	0.632	0.805
50	0.938	0.762	0.812	0.804	0.637	0.793
51	0.938	0.765	0.816	0.825	0.639	0.775
52	0.936	0.768	0.821	0.851	0.639	0.751
53	0.952	0.775	0.814	0.859	0.649	0.756
54	0.940	0.767	0.815	0.870	0.659	0.758
55	0.927	0.759	0.818	0.896	0.666	0.744
56	0.925	0.734	0.794	0.893	0.663	0.742
57	0.947	0.746	0.788	0.895	0.659	0.737
58	0.968	0.654	0.676	0.909	0.670	0.737
59	0.914	0.582	0.637	0.929	0.681	0.733
60	0.913	0.570	0.624	0.918	0.678	0.738
61	0.912	0.561	0.616	0.906	0.669	0.738
62	0.914	0.553	0.605	0.923	0.672	0.728
63	0.915	0.545	0.596	0.919	0.670	0.729
64	0.903	0.538	0.595	0.915	0.667	0.729
65	0.899	0.520	0.579	0.924	0.646	0.699
66	0.919	0.520	0.566	0.941	0.632	0.672
67	0.931	0.519	0.558	0.956	0.618	0.647
68	0.940	0.514	0.547	0.971	0.603	0.621
69	0.940	0.509	0.542	0.985	0.591	0.600
70	0.947	0.510	0.539	0.977	0.565	0.579
71	0.978	0.510	0.521	0.971	0.547	0.564
72	0.995	0.509	0.512	0.965	0.531	0.550
73	0.991	0.509	0.513	0.960	0.516	0.537
74	0.985	0.508	0.516	0.956	0.502	0.525
平均 Average	0.955	0.578	0.616	0.712	0.520	0.742



厚)。腹鳍/背鳍的面积指数为0.525~0.938,平均0.742,即单侧腹鳍面积约是背鳍面积的74%,双侧面积约是背鳍面积的1.5倍。腹鳍/背鳍的面积指数也呈波浪式变化,指数最小值出现在体重750.0 g(序号74),表明腹鳍面积随体重的增加,相对于背鳍面积越来越小;最大值出现在体重255.5 g(序号33),表明相对于背鳍而言,塘养建鲤种期是腹鳍面积最大的时期。

### 3 讨论

目前,有关鳍条面积和鳍条重量与鱼类体重关系的研究鲜见报道。本研究在改进鳍条面积测定方法的基础上,探索塘养建鲤体重与鳍条面积和鳍条重量的关系,结果表明,塘养建鲤不同体重表征着相应的鳍条面积和鳍条重量,体重与鳍条面积和鳍条重量间存在显著相关和线性回归,通过建立的相关回归方程可测算塘养建鲤的鳍条面积和鳍条重量。此外,以剪鳍扫描测定样本鱼鳍条参数、通过相关回归方程测算种群参数、建立鱼类鳍条等附件器官数据库,对鱼类遗传选育研究及生态类型划分具有重要意义,能减少鱼类试验中的致死测定,有效降低科研成本,可在有鳍鱼类的相关研究中推广应用。

鳍条面积比较指数和鳍条重量比较指数在不同体重阶段表征着鳍条的发育顺序及其生长速度,鳍条面积比较指数越高表明鳍条发育越早。本研究结果表明,鳍条面积比较指数大于鳍条重量比较指数,说明鳍条面积优先于鳍条重量的发育,然后才是体尺增长;在背鳍、尾鳍和腹鳍的发育过程中,背鳍首先发育,其次是腹鳍和尾鳍;而在体尺发育上,体长优先于体全长。上述附件器官发育完成后,鱼类体重进入快速增长期。此外,鳍条面积比较指数和鳍条重量比较指数的最小值均出现在体重726.8 g以后,说明塘养建鲤在此之前首先学习在水中保持平衡,包括水平平衡(背鳍)和垂直定位平衡(腹鳍),然后学习游泳(尾鳍发育生长)。比较指数分析结果表明,鳍条面积发育拐点体重分别是:背鳍245.5 g,尾鳍638.9 g,腹鳍750.0 g;背鳍重量发育拐点体重是468.6 g;尾鳍和腹鳍发育拐点体重及体长、体全长和体重增加拐点体重均为726.8 g,即726.8 g是塘养建鲤的适宜捕捞体重。在拐点之后,鳍条面积比较指数和鳍条重量比较指数均逐渐缩小,鱼体的生长发育增长势转向体重增加及体型肥满度增加。

鱼类鳍条面积常作为适生地域的标识和生态类型区分的必要条件,湖库静水区域与江河流域同种鱼类的鳍条面积存在明显差异(Nadav,2014)。

采用图像处理软件结合照相技术测定鳍条面积,需矫正照相器材与鱼体间实际距离,且需人工寻找照片特征点标记,然后按照点间距离分块计算组合,同时根据相应的计算公式进行最终面积测算,过多的条件函数将导致目标函数准确性降低。本研究应用叶面积扫描仪直接测取鳍条面积可提高鳍条面积测度的准确性,所测得的鳍条面积与湖库型鲤鱼鳍条面积基本一致(Pang et al.,2011),说明可用体重回归估测鱼类的鳍条面积和重量,有效降低科研成本,在活体条件下为研究鱼类遗传选育及生态分类提供理论参数。

### 4 结论

塘养建鲤体重与鳍条面积及其重量存在显著线性回归关系,通过体重可准确估测背鳍、尾鳍和腹鳍的面积及重量。塘养建鲤背鳍面积的发育早于尾鳍和腹鳍,发育拐点之后体重和肥满度增长加快,塘养建鲤的适宜捕捞体重为726.8 g。

#### 参考文献:

- 黄玉瑶,滕德兴,赵忠宪,许培礼,佟明秀. 1981. 官厅水库鲤鱼的生长特征及其对水库污染的指示意义[J]. 生态学报,1(1):76-83. [Huang Y Y, Teng D X, Zhao Z X, Xu P L, Tong M X. 1981. Some characters of growth of carp (*Cyprinus carpio* L.) and its indication significance on water pollution in the Guanting Reservoir[J]. Acta Ecologica Sinica,1(1):76-83.]
- 江建军,许柳雄,朱国平,郭志勋,朱伟俊. 2019. 利用鳍条研究北太平洋长鳍金枪鱼的年龄与生长[J]. 水产学报,43(4):917-927. [Jiang J J, Xu L X, Zhu G P, Guo Z X, Zhu W J. 2019. Age and growth of albacore tuna (*Thunnus alalunga*) in the North Pacific Ocean based on sectioned fin ray[J]. Journal of Fisheries of China,43(4):917-927.]
- 李江涛,林小涛,周晨辉,曾鹏,许忠能,孙军. 2016. 实验室条件下唐鱼两性异形及其与游泳能力关系[J]. 应用生态学报,27(5):1639-1646. [Li J T, Lin X T, Zhou C H, Zeng P, Xu Z N, Sun J. 2016. Sexual dimorphism and its relationship with swimming performance in *Tanichthys albonubes* under laboratory conditions[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,27(5):1639-1646.]
- 李秀明,王川,于丽娟,曹振东,付世建,张耀光. 2013. 有氧运动训练对中华倒刺鲃幼鱼形态特征的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版),35(7):21-26. [Li X M, Wang C, Yu L J, Cao Z D, Fu S J, Zhang Y G. 2013. The effects of aerobic exercise training on the morphological characteristics of juvenile *Spinibarbus sinensis* [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 35(7): 21-26.]
- 李秀明,韦艳洋,付世建,张耀光. 2016. 饥饿对鲤幼鱼体型特征的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),33(5):24-

28. [Li X M, Wei Y Y, Fu S J, Zhang Y G. 2016. Effects of starvation on the body shape features of juvenile *Cyprinus carpio*[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 33(5):24-28.]
- 李芝旭. 2003. 用局部麻醉法观察鱼鳍的作用[J]. 生物学通报, 38(1):25. [Li Z X. 2003. The role of fin was observed by local anaesthesia[J]. Biological Bulletin, 38(1):25.]
- 刘明中, 林小涛, 许忠能, 徐采, 姚达章. 2014. 切鳍标记对唐鱼游泳能力的影响[J]. 动物学杂志, 49(6):930-937. [Liu M Z, Lin X T, Xu Z N, Xu C, Yao D Z. 2014. Influences of fins amputation on swimming ability of *Tanichthys albonubes*[J]. Chinese Journal of Zoology, 49(6):930-937.]
- 吕国敏, 吴水清, 区又君, 李加儿, 刘江华. 2015. 青龙斑鳍的早期胚后发育观察[J]. 南方农业学报, 46(7):1297-1302. [Lü G M, Wu S Q, Ou Y J, Li J E, Liu J H. 2015. Observation on fins development of Qinglong grouper (*Epinephelus coioides* ♀×*E. lanceolatus* ♂) at postembryonic development stage[J]. Journal of Southern Agriculture, 46(7):1297-1302.]
- 邵金辉, 许增禄. 2009. 鱼鳍的再生[J]. 生命的化学, 29(2):265-267. [Shao J H, Xu Z L. 2009. Research progress of fish fin regeneration[J]. Chemistry of Life, 29(2):265-267.]
- 王新安, 马爱军, 许可, 雷霖霖, 杨志, 曲江波. 2008. 大菱鲂幼鱼表型形态性状与体重之间的关系[J]. 动物学报, 54(3):540-545. [Wang X A, Ma A J, Xu K, Lei J L, Yang Z, Qu J B. 2008. Relationship between morphometric attributes and body weight of juvenile turbot *Scophthalmus aximus*[J]. Acta Zoologica Sinica, 54(3):540-545.]
- 熊建新, 陈立军, 吴子忠. 2004. 鱼鳍特化的功能[J]. 河北渔业, (2):22. [Xiong J X, Chen L J, Wu Z Z. 2004. The function of fin specialization[J]. Hebei Fisheries, (2):22.]
- 扬红喜, 张洁, 潘慧娟. 2017. 利用鳍条组织进行流式细胞实验的可行性研究[J]. 南方水产科学, 13(2):121-127. [Yang H X, Zhang J, Pan H J. 2017. Feasibility of flow cytometry experiments based on fin[J]. South China Fisheries Science, 13(2):121-127.]
- 杨晗, 曹振东, 付世建. 2013. 尾鳍缺失对鳊鱼幼鱼游泳能力、能量效率与行为的影响[J]. 水生生物学报, 37(1):157-163. [Yang H, Cao Z D, Fu S J. 2013. Effect of caudal amputation on swimming capacity, energy expenditure and behavior of juvenile *Parabramis pekinensis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 37(1):157-163.]
- 张亮, 郑爱荣, 王彦华. 2017. 苜蓿草粉对黄河鲤鱼肌肉营养成分及其肥满度的影响[J]. 现代牧业, 1(4):14-17. [Zhang L, Zheng A R, Wang Y H. 2017. Effect of alfalfa meal on nutritive composition in muscle and relative fatness of *Carpio haematopterus*[J]. Modern Animal Husbandry, 1(4):14-17.]
- 张堂林, 李钟杰, 舒少武. 2003. 鱼类标志技术的研究进展[J]. 中国水产科学, 10(3):246-253. [Zhang T L, Li Z J, Shu S W. 2003. A review on marking techniques in fush[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 10(3):246-253.]
- 张晓娟, 朱要军, 丁苗, 桂建芳. 2017. 鳍与四肢如何发育和演化?[J]. 科学通报, 62(22):2453-2464. [Zhang X J, Zhu Y J, Ding M, Gui J F. 2017. How do fins and limbs develop and evolve?[J]. Chinese Science Bulletin, 62(22):2453-2464.]
- 张雪, 郭艳娜, 张虎成. 2013. 水电站鱼类人工增殖放流标记方法研究概述[J]. 环境科学与管理, 38(12):127-130. [Zhang X, Guo Y N, Zhang H C. 2013. Overview of fish marking method about artificial propagation and releasing in hydropower station[J]. Environmental Science and Management, 38(12):127-130.]
- Hanson K C, Hasler C T, Suski C D, Cooke S J. 2007. Morphological correlates of swimming activity in wild largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in their natural environment [J]. Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular & Integrative Physiology, 148(4):913-920.
- Nadav B. 2014. Physiological and hormonal changes during prolonged starvation in fish[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 71(10):1447-1458.
- Pang X, Cao Z D, Fu S J. 2011. The effects of temperature on metabolic interaction between digestion and locomotion in juveniles of three cyprinid fish (*Carassius auratus*, *Cyprinus carpio* and *Spinibarbus sinensis*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology. Part A: Molecular & Integrative Physiology, 159(3):253-260.

(责任编辑 兰宗宝)