

不同投喂方式对鳙形态特征的影响

许德高^{1,2}, 李学梅^{1*}, 朱永久¹, 张家波², 杨德国¹

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业部淡水生物多样性保护重点实验室, 湖北武汉 430223;

2. 华中农业大学水产学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 为分析不同投喂方式对鳙形态特征的影响, 本研究采用了传统形态度量法和框架分析法构建了31个反映体型的形态比例性状, 运用单因素方差分析、聚类分析、主成分分析和判别分析等统计方法对4种投喂方式下, 施肥(组A)、施肥+1/2投饲(组B)、施肥+投饲(组C)、投饲(组D)总共56尾鳙的这些性状进行分析比较。方差分析结果显示, 不同处理组间头高/体长、4-6/体长、5-6/体长、5-8/体长等7个比例性状无显著差异, 其他24个性状差异显著, 但头长/体长在组A、组C和组D中无显著差异。聚类分析结果显示, 不同处理组分成2支, 其中组A单独聚为一支, 而组B、组C和组D共同聚为一支。主成分分析构建了7个主成分, 累计贡献率达到了94.6%, 其散点图显示, 组B、组C和组D部分样本重叠在一起, 与组A完全分开。以Bayes逐步判别分析方法选用了6个判别效果较好的比例性状, 建立了4个种群的判别函数, 不同处理组鳙判别准确率分别为92.7%、87.5%、64.3%和87.5%, 说明了本结果的可靠性。结果表明, 投饲养殖方式下鳙形态特征发生显著变化, 但头部相关的主要比例性状无显著差异, 头部至背鳍躯干部距离显著增大, 形成了头部偏小的假象。本研究首次以数据结果阐释投饲养鳙仍符合人们喜食的大鱼头特征, 为该养殖技术奠定了理论基础。

关键词: 鳙; 投饲养殖; 形态特征; 多元统计分析

中图分类号: S 965

文献标志码: A

鳙(*Aristichthys nobilis*)属硬骨鱼纲(Osteichthyes)、鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae), 俗称花鲢、胖头鱼等, 主要摄食轮虫、枝角类、桡足类等浮游动物, 与鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)合称为我国“四大家鱼”^[1]。自20世纪50年代末人工繁殖成功后, 鳙结束了几千年来依靠人工捕捞野生苗种的历史, 极大地促进了其养殖业的迅速发展^[2-3]。鳙生长速率快、养殖成本低、抗逆境, 已被世界上多个国家和地区进行引种, 用于食用或调控水库水质^[4]。

在我国, 鳙具有较高的食用和食疗价值, 备受广大消费者的喜爱, 尤其是鳙鱼头的热销,

使其养殖规模不断扩大, 产量不断升高, 2014年已占我国淡水养殖总产量11.1%^[5]。近年来, 随着养殖技术的提高, 鳙从传统养殖模式中的配养鱼类逐步转变为主养鱼类, 且取得了可观的经济效益^[6-9]。这种高产量的鳙养殖模式, 必须建立在投喂配合饲料(多为膨化饲料)的基础上^[10]。研究表明, 投饲时鳙一般集群在食场游转, 头部半露水面, 连水带饲料吞入口中, 整体表现相对温和, 不如其他肉食性鱼类激烈^[11]。

据外部观察, 摄食膨化饲料的鳙与滤食天然饵料的鳙在形态上存在差异, 但缺乏数据支持。鱼类形态特征受遗传与环境因素双重影响, 是种类鉴别和物种分类的重要依据^[12]。传统形态学分析、多变量形态度量法和几何形态测量法是

收稿日期: 2016-02-19 修回日期: 2016-03-29

资助项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAD25B05); 国家自然科学基金(31502142)

通信作者: 李学梅, E-mail: lanqian1985@163.com

研究种群形态差异的常见方法,已在鱼类不同种群间形态差异比较上得到了广泛的应用^[13-16]。本研究以鳙为对象,通过4种不同的投喂方式饲养实验鱼,采用多种统计分析方法比较不同处理组鳙的形态特征,探讨不同投喂方式对鳙形态特征的影响,为池塘投饲养鳙技术提供数据支持。

1 材料与方 法

1.1 实验对象

实验于2014年4—9月在荆州市长江水产研究所窑湾池塘生态养殖基地进行,在面积为2666.4 m²的池塘中建立12个围隔,围隔箱体为无底帆布箱体,材料为2×2双面涂塑帆布,单个规格为长×宽×高=9 m×6 m×2.5 m。每个实验围隔配备1个纳米盘以保证氧气充足。

12个围隔均放养体色正常,鱼体丰满,体质健壮、鳞鳍完整、无伤无病的优质鳙鱼种,规格为1000~1500 g/尾,2龄鱼,数量为16尾/围隔。实验分4个处理组,组A:施肥;组B:施肥+1/2投饲;组C:施肥+投饲;组D:投饲;每个处理组3个重复。

实验期间,组A:每隔3 d施肥1次,单个围隔每次施用量为尿素200 g+磷酸乙胺160 g+黄金肽250 g;组B:每天上午9:00和下午16:00各投喂1次,投喂浮性颗粒饲料,组C和D每天投喂量为鱼体质量的2%~3%,组B为该投饲量的一半。围隔内外水体不交换,平均水深维持在1.6 m左右,水源为井水,符合GB11607渔业水质标准^[17]。微孔增氧机每天曝气1次,晴天时下午1点开始曝气2 h,阴雨天时午夜2点开始曝气至天明。实验期间最低水温为21.5 °C,最高水温发生在8月份,为32.2 °C。

1.2 数据采集

9月末,实验结束后,从每个围隔内随机捕获4~5尾鳙(平均规格:1500~2500 g/尾),于MS-222 (250 mg/L)麻醉5 min,用直尺、游标卡尺(精确度为0.01 cm)、曲尺测量形态性状。传统形态度量性状包括体长、全长、头长、头高、眼后头长、吻长、眼径、体高、体厚、尾柄长和尾柄高。选取了10个特征点,测量21个框架形态性状^[18](图1),以1-2表示点1至点2的距离,2-3表示点2至点3的距离,以此类推。另外,每种鱼类又依次选择23个界标点,用于几何形态测量。

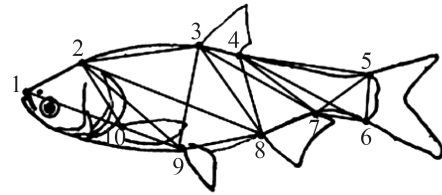


图1 鳙框架图

1.吻端;2.头部后缘;3.背鳍基点;4.背鳍基部末端;5.尾鳍背部起点;6.尾鳍腹部起点;7.臀鳍基部末端;8.臀鳍基部起点;9.腹鳍基部起点;10.胸鳍基部起点

Fig. 1 Truss network of distance measurements of bighead carp

1. tip of maxillary; 2. forehead (end of frontal bone); 3. origin of dorsal fin; 4. termination of dorsal fin; 5. dorsal side of caudal peduncle, at the nadir; 6. ventral side of caudal peduncle, at the nadir; 7. termination of anal fin; 8. origin of anal fin; 9. origin of pelvic fin; 10. origin of pectoral fin

界标点是指生物体形态中同源性点位,即具有的某些可被定义的解剖位点,这些界标点对于物体表面形态能够充分地覆盖,能重复且稳定地出现在物体表面,且位于同一平面内^[19]。

1.3 统计分析

为消除样本大小差异对形态特征的影响,将11个传统形态性状和21个框架形态性状除以体长构建31个反映体型的比例性状,予以校正。利用单因子方差分析、主成分分析、聚类分析和判别分析进行不同处理组间的比较,采用Microsoft Excel 2010和SPSS 18.0 (PASW, 美国)统计软件进行数据处理。使用图像分析处理软件Tpsdig 2对左视图像界标点的x轴和y轴进行数字化,建立坐标点数据文件。用tpsRelw软件叠印出地标点分布情况,对每个样本的地标点进行平移置中、旋转和大小校正,计算出所有样本地标点的平均坐标,求出平均形(mean shape),据此进行局部扭曲(partial warps)和相对扭曲(relative warps)主成分分析,保存软件生成的相对扭曲指数(relative warps scores)矩阵和分析报告,用tpsRegr软件绘出组A和组D鳙种群的网格变形图,比较它们的形态差异^[15,20]。

2 结果与分析

2.1 单因素方差分析

单因素方差分析(One-Way ANOVA)结果显示,31个比例性状中,除头高/体长、1-2/体长、4-5/体长、2-9/体长、4-6/体长、5-6/体长、5-8/体长在不同处理组间无显著差异($P > 0.05$)外,

其他指标均存在差异显著, 但头长/体长在组A、
组C和组D间无显著差异($P>0.05$, 表1)。

2.2 聚类分析

对4个处理组的31个比例性状平均值进行最

表 1 不同处理组鳙种群形态性状方差分析

Tab. 1 Variance analysis results of morphological parameters of bighead carp population of different treatments $n=14$; $X\pm SD$

性状 character	组A group A	组B group B	组C group C	组D group D	P值 P value
全长/体长 TL/BL	1.174±0.008 ^a	1.173±0.014 ^a	1.182±0.011 ^{ab}	1.189±0.015 ^b	<0.01
头长/体长 HL/BL	0.340±0.011 ^a	0.320±0.012 ^b	0.333±0.008 ^a	0.330±0.013 ^a	<0.01
头高/体长 HH/BL	0.250±0.005	0.243±0.007	0.248±0.008	0.244±0.006	NS
眼后头长/体长 HLBE/BL	0.248±0.015 ^{ab}	0.246±0.010 ^a	0.254±0.006 ^{ab}	0.256±0.007 ^b	0.033
吻长/体长 SL/BL	0.071±0.006 ^a	0.056±0.005 ^b	0.059±0.005 ^b	0.055±0.006 ^b	<0.01
眼径/体长 ED/BL	0.022±0.002 ^a	0.021±0.002 ^{ab}	0.021±0.002 ^{ab}	0.020±0.001 ^b	0.015
体高/体长 BH/BL	0.276±0.001 ^a	0.291±0.010 ^b	0.292±0.008 ^b	0.295±0.009 ^b	<0.01
体厚/体长 BT/BL	0.011±0.004 ^a	0.013±0.001 ^b	0.013±0.001 ^b	0.014±0.001 ^c	<0.01
尾柄长/体长 CPL/BL	0.188±0.005 ^c	0.181±0.006 ^b	0.177±0.010 ^{ab}	0.173±0.009 ^a	<0.01
尾柄高/体长 CPH/BL	0.097±0.004 ^a	0.102±0.002 ^b	0.102±0.003 ^b	0.105±0.003 ^c	<0.01
1—2/体长 1—2/BL	0.250±0.009	0.245±0.009	0.249±0.007	0.252±0.007	NS
2—3/体长 2—3/BL	0.281±0.008 ^a	0.290±0.009 ^b	0.290±0.009 ^b	0.288±0.008 ^b	0.034
3—4/体长 3—4/BL	0.101±0.006 ^b	0.099±0.006 ^{ab}	0.091±0.012 ^a	0.098±0.011 ^{ab}	0.035
4—5/体长 4—5/BL	0.326±0.014	0.323±0.015	0.330±0.017	0.317±0.016	NS
5—6/体长 5—6/BL	0.125±0.003	0.127±0.003	0.126±0.003	0.126±0.005	NS
6—7/体长 6—7/BL	0.128±0.007 ^b	0.123±0.006 ^{ab}	0.118±0.013 ^a	0.119±0.008 ^a	0.016
7—8/体长 7—8/BL	0.144±0.005 ^a	0.153±0.008 ^b	0.154±0.011 ^b	0.155±0.006 ^b	<0.01
8—9/体长 8—9/BL	0.218±0.009 ^a	0.230±0.007 ^b	0.227±0.009 ^b	0.239±0.009 ^c	<0.01
9—10/体长 9—10/BL	0.179±0.009 ^a	0.193±0.007 ^b	0.192±0.009 ^b	0.194±0.007 ^b	<0.01
10—1/体长 10—1/BL	0.311±0.006 ^b	0.295±0.011 ^a	0.303±0.012 ^a	0.294±0.014 ^a	<0.01
2—10/体长 2—10/BL	1.174±0.008 ^c	1.173±0.014 ^b	1.182±0.011 ^b	1.189±0.015 ^a	<0.01
2—9/体长 2—9/BL	0.340±0.011	0.320±0.011	0.332±0.008	0.330±0.013	NS
3—10/体长 3—10/BL	0.250±0.005 ^a	0.243±0.007 ^b	0.248±0.008 ^b	0.244±0.006 ^b	<0.01
3—9/体长 3—9/BL	0.248±0.015 ^a	0.246±0.010 ^b	0.254±0.006 ^b	0.256±0.007 ^b	<0.01
3—8/体长 3—8/BL	0.286±0.008 ^a	0.307±0.008 ^b	0.306±0.007 ^b	0.309±0.008 ^b	<0.01
4—9/体长 4—9/BL	0.022±0.002 ^a	0.021±0.002 ^{bc}	0.021±0.002 ^b	0.020±0.001 ^c	<0.01
4—8/体长 4—8/BL	0.213±0.008 ^a	0.238±0.009 ^b	0.240±0.006 ^b	0.242±0.008 ^b	<0.01
5—8/体长 5—8/BL	0.313±0.010	0.317±0.007	0.317±0.009	0.315±0.007	NS
4—7/体长 4—7/BL	0.188±0.005 ^a	0.181±0.006 ^b	0.177±0.010 ^b	0.173±0.009 ^b	<0.01
4—6/体长 4—6/BL	0.355±0.011	0.363±0.011	0.365±0.012	0.359±0.016	NS
5—7/体长 5—7/BL	0.250±0.009 ^b	0.245±0.009 ^{ba}	0.249±0.007 ^{ba}	0.251±0.007 ^a	0.035

注: 1—2.点1至点2的距离; 1—3.点1至点3的距离, 以此类推; 下同。a、b、c表示4个处理组群体差异性($P<0.05$), TL: 全长; BL: 体长; HL: 头长; HH: 头高; HLBE: 眼后头长; SL: 吻长; ED: 眼径; BH: 体高; BT: 体厚; CPL: 尾柄长; CPH: 尾柄高; NS: 差异不显著
Notes: 1—2. the distance between point 1 and point 2; 1—3. the distance between point 1 and point 3, and so on; the same below. a, b, c in the same row denotes significant difference among the four populations ($P<0.05$). TL: total length; BL: body length; HL: head length; HH: head height; HLBE: head length behind the eye; SL: snout length; ED: eye diameter; BH: body height; BT: body thickness; CPL: caudal peduncle length; CPH: caudal peduncle height; NS: non-significant

短距离聚类分析,得到4个处理组鳙的比例性状聚类图(图2)。聚类结果表明,组C、组D群体距离最短,非相关系数(0.0007)最小,首先聚为一支,再与组B聚为一大支,组A与其他3个处理组距离较远,先单独为一支,然后与其他组聚为一支。投饲组(组C、组D和组B)鳙群体形态特征较为相似,而三者与施肥组(组A)形态差异较大。

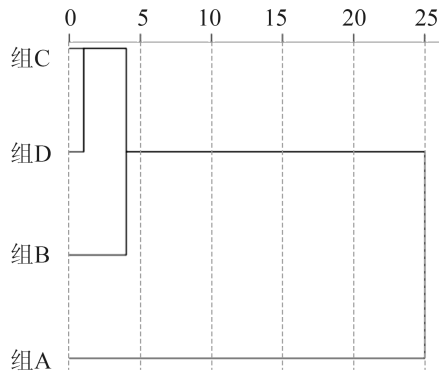


图2 不同处理组鳙种群形态性状聚类图

Fig. 2 Dendrogram of the relationship for morphometric characters of bighead carp population of different treatments

2.3 主成分分析和相对扭曲图像

将4个处理组的31个形态比例性状通过线性变换,共提取7个主成分,对变异的贡献率分别为36.8%、21.9%、11.6%、8.58%、6.40%、5.46%和3.90%,累计贡献率为94.6%(表2)。影响第一主成分的比例性状主要有头高/体长、体高/体长、2-10/体长等;影响第二主成分的比例性状主要有1-2/体长、4-7/体长、4-8/体长等;影响第三主成分的比例性状主要有3-4/体长、5-8/体长等。对第一和第二主成分作散点图(图3),结果显示处理组B、组C、组D样本聚在一起,部分重叠表现出性状的中间过渡,组A种群与它们距离较远,完全分开。组A和组D的相对扭曲图像也表现出差异,再次说明投饲组(组B、组C、组D)形态特征较为相似,三者与施肥组(组A)形态特征差异较大。

2.4 判别分析

使用单因素方差分析中4个处理组内有显著差异的24个性状,进行Bayes逐步判别分析,筛选出6个性状的特征值,建立4个处理组的判别函数。式中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 和 X_6 分别代表全长

/体长、吻长/体长、体厚/体长、3-4/体长、8-9/体长、4-8/体长。4个种群的判别准确率分别为92.7%、87.5%、64.3%和87.5%(表3)。

$$\text{组A: } Y_1 = -7590.12 + 9751.81X_1 + 12522.41X_2 + 37152.98X_3 + 2566.17X_4 + 6255.05X_5 + 3716.58X_6$$

$$\text{组B: } Y_2 = -7601.01 + 9708.14X_1 + 11847.79X_2 + 38264.27X_3 + 2778.90X_4 + 6124.91X_5 + 4156.72X_6$$

$$\text{组C: } Y_3 = -7729.54 + 9797.17X_1 + 12133.36X_2 + 39492.22X_3 + 2661.82X_4 + 6142.91X_5 + 4150.14X_6$$

$$\text{组D: } Y_4 = -7868.82 + 9857.22X_1 + 12072.82X_2 + 40948.46X_3 + 2806.17X_4 + 6320.03X_5 + 4138.15X_6$$

3 讨论

鳙由于其头部味道鲜美,营养丰富,成为人们喜食又实惠的一种食用鱼类。但长期以来它只作为一种少数搭配养殖品种,产量低,主要发挥其生态效益^[21]。随着市场需求不断增大,投饲、主养鳙技术逐渐发展,大大提高了其产量^[9]。但也有养殖人员反映,投饲养鳙会使其头部变小,影响消费者对其偏好。相关论述亟需科学数据的论证。本研究在此基础上采用了聚类分析、主成分分析、判别分析等常用多元分析方法^[22]比较施肥、投饲等养殖方式对鳙形态特征的影响,该分析方法已被广泛应用于不同鱼类种群形态差异比较^[14, 16]、有效物种鉴定^[23]等方面的研究。

本研究中,聚类分析与主成分分析结果一致(图2, 3),投饲处理的组B、组C、组D 3个群体聚为一支,与施肥处理组A距离较大,表明施肥组鳙群体与投饲各组鳙群体形态特征有显著差异,说明鳙从滤食浮游生物到摄食饲料变化的同时,其形态特征也发生了变化。影响鱼类形态特征的因子主要有基因、生存环境(食物、温度)等^[24-25],而鱼类在形态学特征上比其他脊椎动物有着更大的群体内部和群体之间的变异,受外界环境影响较大^[26]。已有研究表明三峡库区水域牧场放养与池塘养殖鳙群体有一定的形态差异,可通过形态比例性状来判断鳙的库区群体、放养群体和养殖群体^[3]。另有研究指出塘鱼(*Tanichthys albonubes*)、中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)等野生种群与养殖群体在外部形态的整体大小上有明显的差异^[14, 27]。4种投喂方式下鳙群体的判别准确率分别为92.7%、87.5%、64.3%

表 2 不同处理组鳙种群形态性状主成分分析

Tab. 2 Principal components of morphological parameters of bighead carp population of different treatments

性状 character	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分	第五主成分	第六主成分	第七主成分
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
全长/体长 TL/BL	-0.776	0.113	-0.251	0.101	0.143	-0.388	0.070
头长/体长 HL/BL	0.785	-0.521	0.276	0.120	-0.039	-0.001	-0.097
头高/体长 HH/BL	0.932	-0.106	0.125	-0.010	-0.004	-0.030	0.149
眼后头长/体长 HLBE/BL	0.693	-0.433	0.399	-0.136	0.185	-0.174	-0.212
吻长/体长 SL/BL	0.683	-0.487	-0.063	0.301	-0.323	0.173	-0.024
眼径/体长 ED/BL	0.427	-0.211	0.336	-0.411	0.299	0.471	0.098
体高/体长 BH/BL	0.809	0.375	0.333	0.140	0.051	-0.067	0.088
体厚/体长 BT/BL	-0.042	0.202	-0.094	-0.773	0.212	0.408	0.309
尾柄长/体长 CPL/BL	-0.538	-0.292	0.216	0.434	0.519	0.179	0.188
尾柄高/体长 CPH/BL	0.527	0.525	-0.021	-0.210	0.146	-0.303	0.436
1—2/体长 1—2/BL	0.282	-0.845	0.160	-0.172	-0.208	-0.041	0.305
2—3/体长 2—3/BL	0.574	0.450	-0.128	0.110	-0.183	0.357	-0.498
3—4/体长 3—4/BL	0.336	-0.598	-0.678	0.028	0.008	-0.182	0.068
4—5/体长 4—5/BL	-0.327	0.576	0.367	0.450	-0.294	0.250	0.123
5—6/体长 5—6/BL	0.683	0.330	-0.448	-0.089	0.037	-0.225	0.267
6—7/体长 6—7/BL	-0.666	0.068	0.295	0.345	0.549	-0.095	-0.086
7—8/体长 7—8/BL	-0.340	0.308	-0.460	0.028	-0.668	-0.011	0.162
8—9/体长 8—9/BL	-0.149	0.531	0.151	-0.471	-0.014	-0.468	-0.428
9—10/体长 9—10/BL	-0.210	0.484	-0.479	-0.466	0.165	0.397	-0.145
10—1/体长 10—1/BL	0.826	-0.397	0.200	0.276	-0.058	-0.061	-0.026
2—10/体长 2—10/BL	0.903	0.025	-0.101	0.322	0.057	0.142	0.073
2—9/体长 2—9/BL	0.878	0.307	-0.118	0.197	0.055	0.229	-0.062
3—10/体长 3—10/BL	0.700	0.627	-0.167	-0.010	0.056	0.219	-0.105
3—9/体长 3—9/BL	0.845	0.455	0.066	0.121	0.053	-0.082	0.057
3—8/体长 3—8/BL	0.822	0.458	0.116	-0.043	0.079	-0.156	0.133
4—9/体长 4—9/BL	0.799	0.299	-0.263	-0.126	0.064	-0.355	-0.153
4—8/体长 4—8/BL	0.258	0.730	0.581	-0.072	0.021	-0.088	0.088
5—8/体长 5—8/BL	-0.189	0.511	-0.613	0.494	0.004	0.113	0.156
4—7/体长 4—7/BL	-0.255	0.786	0.454	-0.036	-0.295	-0.002	0.103
4—6/体长 4—6/BL	-0.500	0.617	0.541	0.206	-0.124	-0.011	0.088
5—7/体长 5—7/BL	0.168	0.459	-0.478	0.389	0.573	-0.024	-0.054
特征值 eigenvalue	11.4	6.79	3.61	2.66	1.99	1.69	1.21
贡献率/% contribution	36.8	21.9	11.6	8.58	6.40	5.46	3.90
累计贡献率/% cumulative contribution	36.7	58.7	70.3	78.9	85.3	90.7	94.6

注: PC.主成分

Notes: PC. principal component

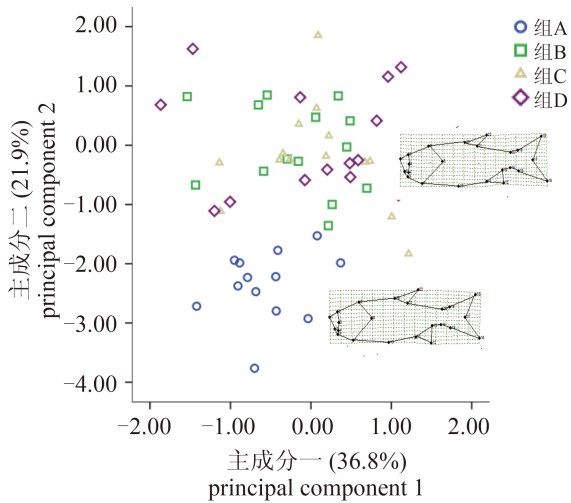


图3 不同处理组鳙种群形态性状主成分分析

鱼图像为组A和组D的相对扭曲图像，2个图像是通过地标点方法形成的网格变形图，突出组A和组D躯干部变形

Fig. 3 Principal component analysis of morphological parameters of bighead carp population of different treatments

The relative warps image of group A and group D, grid deformation maps formed by landmark method, highlighting the deformation of fish trunk from head to the dorsal fin of group A and D

表3 不同处理组鳙种群形态性状判别分析

Tab. 3 Discriminant analysis of meristic of relative biometric values of bighead carp population of different treatments

鳙群体 bighead carp group	预测分类 predicted group membership				判别准确率/% identification accuracy
	组A	组B	组C	组D	
组A	13	1			92.1
组B		12	2		87.5
组C		3	9	2	64.3
组D		1	1	12	87.5

和87.5%，说明了本结果的可靠性，但组B、组C和组D样本中存在交叉重叠现象(表3)，降低了判别准确率，再次说明了不同的投饲处理组鳙形态相似度较高。

单因素方差分析结果显示，4个处理组鳙形态特征除头高/体长、1-2/体长、4-5/体长、2-9/体长、4-6/体长、5-6/体长、5-8/体长等均表现出显著差异，头长/体长则是在组A(施肥)、组C(施肥+投饲)和组D(投饲)中没有差异(表1)。表明在施肥、投饲等养殖方式下，鳙的头部特

征(头长、头高、1-2、2-9)、背鳍至尾部躯干(4-5、4-6、5-6、5-8)变化不显著，主要的形态变化发生在背鳍至头部的躯干部分。在组A和组D鳙种群的网格变形图中也可观察到相似结果，组D背鳍至头部的躯干明显高于组A(图3)。为排除不同处理组鳙因食物不同、生长速率不均匀所产生的形态差异，同时分析了4个处理组鳙的肥满度： $K=(W/L^3) \times 100$ ，结果分别为 1.65 ± 0.11 、 1.65 ± 0.12 、 1.64 ± 0.22 和 1.70 ± 0.15 ，组间没有显著性差异，说明了不同处理组下鳙摄食、生长情况相似。因此，本研究数据表明，投饲养鳙主要造成了其头部至背鳍躯干部增大，头部的主要性状没有显著变化，进而形成头部相对变小的假象。蔡鸣俊等^[28]在对鲂属鱼类：广东鲂(*Megalobrama hoffmanni*)、厚颌鲂(*M. pellegrini*)、鲂(*M. skolkovii*)、团头鲂(*M. amblycephala*)和鳊(*Parabramis pekinensis*)的形态进行比较研究时也发现，头部的性状在鲂属鱼类的演化中非常关键，其选择压力大，发生变化几率小。

综上所述，本研究通过分析比较不同投喂方式对鳙主要形态特征的影响，指出投饲养殖致使鳙头部至背鳍的躯干部距离显著增大，但头部的相关性状没有差异。该研究首次为投饲养殖的鳙形态特征提供数据支持，然而投饲养殖的生理生化指标如何变化，尚待进一步研究。

参考文献：

[1] 施培松. 匙吻鲟和鳙的生长、肌肉品质比较及FAS基因克隆与表达[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
Shi P S. Cloning and expression of fatty acid synthase gene and comparison on growth, muscle quality of *Polyodon spathula* and *Aristichthys nobilis*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013 (in Chinese).

[2] 钟麟, 李有广, 张松涛, 等. 家鱼的生物学和人工繁殖[M]. 北京: 科学出版社, 1965.
Zhong L, Li Y G, Zhang S T, et al. Fish Biology and Artificial Breeding[M]. Beijing: Science Press, 1965 (in Chinese).

[3] 宋咏. 三峡库区水域牧场放养与池塘养殖鲢鳙肌肉品质和消化酶活力以及形态的比较研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
Song Y. Comparative analyses of muscle nutritional composition, digestion enzymes activities, dietary and

- morphology of silver carp and bighead carp in the Three Gorges Reservoir water ranch and the farm pond[D]. Chongqing: Southwest University, 2014 (in Chinese).
- [4] Kolar C S, Chapman D C, Courtenay W R, *et al.* Asian carps of the genus *Hypophthalmichthys* (Pisces, Cyprinidae)-a biological synopsis and environmental risk assessment[R]. U.S. Fish and Wildlife Service per Interagency Agreement 94400-3-0128, 2005.
- [5] 农业部渔业渔政管理局. 2015中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
The Ministry of Agriculture Fishery and Fishery Administration. China Fishery Statistics Yearbook 2015[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015 (in Chinese).
- [6] 罗晓华. 池塘主养鳊鱼人工投饵养殖技术[J]. 渔业致富指南, 2007(19): 37-38.
Luo X H. Feeding culture technology of bighead carp as main species in pond[J]. Fishery Guide to be Rich, 2007(19): 37-38 (in Chinese).
- [7] 张耀武. 池塘主养鳊鱼鱼种高产技术[J]. 内陆水产, 2007, 32(4): 11-12.
Zhang Y W. High-yield technology of bighead carp as main species in pond[J]. Inland Fisheries, 2007, 32(4): 11-12 (in Chinese).
- [8] 黄爱华, 潘冬霞. 利用配合饵料精养鳊鱼技术[J]. 渔业致富指南, 2013(6): 33-35.
Huang A H, Pan D X. The technology of breeding bighead carp with formulated feed[J]. Fishery Guide to be Rich, 2013(6): 33-35 (in Chinese).
- [9] 黄明, 唐宗宁, 王颜权, 等. 鳊鱼养殖前景及技术探讨[J]. 河北渔业, 2013(6): 51-54.
Huang M, Tang Z N, Wang Y Q, *et al.* The prospect and technical discussion of *Aristichthys nobilis* breeding[J]. Hebei Fisheries, 2013(6): 51-54 (in Chinese).
- [10] 黄安翔, 黎显明. 浅谈鳊鱼养殖技术[J]. 农村经济与科技, 2011, 22(12): 32-33.
Huang A X, Li X M. Introduction to bighead carp breeding technology[J]. Rural Economy and Science-Technology, 2011, 22(12): 32-33 (in Chinese).
- [11] 宋文淼, 孔祥印. 从观察花鲢吞食膨化颗粒饲料现象想到的[J]. 科学养鱼, 2013(1): 74.
Song W M, Kong X Y. Thinking from the phenomenon of bighead carp devouring the expanded pellet feed[J]. Scientific Fish Farming, 2013(1): 74 (in Chinese).
- [12] Kinsey S T, Orsoy T, Bert T M, *et al.* Population structure of the Spanish sardine *Sardinella aurita*: Natural morphological variation in a genetically homogenous population[J]. Marine Biology, 1994, 118(2): 309-317.
- [13] Erguden D, Turan C. Examination of genetic and morphologic structure of sea-bass (*Dicentrarchus labrax* L. 1758) populations in Turkish coastal waters[J]. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 2005, 29(3): 727-733.
- [14] 刘汉生, 易祖盛, 梁健宏, 等. 唐鱼野生种群和养殖群体的形态差异分析[J]. 暨南大学学报(自然科学版), 2008, 29(3): 295-299.
Liu H S, Yi Z S, Liang J H, *et al.* Morphological variations between the wild population and hatchery stock of *Tanichtys albonubes*[J]. Journal of Jinan University (Natural Science), 2008, 29(3): 295-299 (in Chinese).
- [15] 冯波, 程罗妹. 几何形态学方法区分短吻蝠地方种群的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 677-681.
Feng B, Cheng L M. Identifying *Leiognathus brevisrostris* stocks by geometric morphometrics[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(5): 677-681 (in Chinese).
- [16] 任泷, 吴金明, 宋文, 等. 长江主要一级支流中华倒刺鲃形态差异比较[J]. 中国水产科学, 2014, 21(5): 1029-1038.
Ren L, Wu J M, Song W, *et al.* Morphological variation and discriminant analysis of *Spinibarbus sinensis* among Jialing River, Chishui River and Qingjiang River, the tributaries of Yangtze River[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(5): 1029-1038 (in Chinese).
- [17] 国家环境保护局. GB 11607-1989 渔业水质标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
National Environmental Protection Agency. GB 11607-1989 Water quality standard for fisheries[S]. Beijing: China Standard Press, 1990 (in Chinese).
- [18] 于红霞, 唐文乔, 李思发. 50年来长江鲢、鳊形态特征的变迁[J]. 动物学研究, 2010, 31(6): 651-656.
Yu H X, Tang W Q, Li S F. Morphological changes of silver and bighead carp in the Yangtze River over the past 50 years[J]. Zoological Research, 2010, 31(6): 651-656 (in Chinese).
- [19] 熊鹰, 张敏, 张欢, 等. 鱼类形态特征与营养级位置之

- 间关系初探[J]. 湖泊科学, 2015, 27(3): 466-474.
- Xiong Y, Zhang M, Zhang H, *et al.* Preliminary research on relationship between fish functional morphology and trophic position[J]. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(3): 466-474 (in Chinese).
- [20] Rohlf J. tpsDig, Digitize Landmarks and Outlines, Version 2.16[Z]. Stony Brook, NY: Department of Ecology and Evolution, State University of New York, 2010.
- [21] 孙金辉. 鲢、鳙对云龙湖水库水质影响的原位围隔试验及合理放养探讨[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- Sun J H. Impact of stocking silver carp and bighead carp on water quality *in situ* enclosure experiment and appropriate stocking in Yunlonghu reservoir[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006 (in Chinese).
- [22] 李家乐, 李思发, 李勇, 等. 尼奥鱼[尼罗罗非鱼(♀)×奥利亚罗非鱼(♂)]同其亲本的形态和判别[J]. 水产学报, 1999, 23(3): 261-265.
- Li J L, Li S F, Li Y, *et al.* Morphology and discrimination of hybrid *Oreochromis niloticus* (♀)×*Oreochromis aureus* (♂) and their parents[J]. Journal of fisheries of China, 1999, 23(3): 261-265 (in Chinese).
- [23] Tang Q Y, Liu H Z, Yang X P, *et al.* Molecular and morphological data suggest that *Spinibarbus caldwelli* (Nichols) (Teleostei: Cyprinidae) is a valid species[J]. Ichthyological Research, 2005, 52(1): 77-82.
- [24] Grigorakis K, Alexis M N, Taylor K D A, *et al.* Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(5): 477-484.
- [25] 薛泰强. 科几种鱼类的形态学及遗传学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- Xue T Q. Study on morphology and genetics of some *Sillaginidae* species[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010 (in Chinese).
- [26] Wimberger P H. Plasticity of fish body shape. The effects of diet, development, family and age in two species of *Geophagus* (Pisces: Cichlidae)[J]. Biological Journal of the Linnean Society, 1992, 45(3): 197-218.
- [27] 何杰, 吴旭干, 龙晓文, 等. 池塘养殖和野生长江水系中华绒螯蟹扣蟹形态学及生化组成的比较研究[J]. 水产学报, 2015, 39(11): 1665-1678.
- He J, Wu X G, Long X W, *et al.* Comparative studies of morphology and biochemical composition between wild-caught and pond-reared juvenile Chinese mitten crab for Yangtze population[J]. Journal of fisheries of China, 2015, 39(11): 1665-1678 (in Chinese).
- [28] 蔡鸣俊, 张敏莹, 曾青兰, 等. 鲂属鱼类形态度量学研究[J]. 水生生物学报, 2001, 25(6): 631-635.
- Cai M J, Zhang M Y, Zeng Q L, *et al.* A study on morphometrics of the genus *Megalobrama*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2001, 25(6): 631-635 (in Chinese).

Morphological variations of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fed by feedstuff

XU Degao^{1,2}, LI Xuemei^{1*}, ZHU Yongjiu¹, ZHANG Jiabo², YANG Deguo¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation,
Ministry of Agriculture of China Yangtze River Fisheries Research Institute,
Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

2. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: To elucidate the morphological variation of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fed by feedstuff, 31 morphological proportional characters for four populations (56 specimens) from four treatments as fertilization (group A), fertilization+ 1/2 feeding (group B), fertilization+ feeding (group C) and feeding (group D) were investigated, using the traditional morphological (one-way analysis of variance, cluster analysis, principal component analysis, and discriminant analysis) and truss network analysis. The four populations of bighead carp differed significantly for 24 morphological proportional characters (e.g., TL/BL, BH/BL, SL/BL), while there were no differences for other characters as HH/BL, HL/BL, 4-6/BL, 5-6/BL between different groups. A cluster analysis indicated that the group B, group C and group D were more similar compared to group A. The principal component analysis yielded seven principal components with a cumulative contribution ratio of 94.6%. The scatter diagram of major principal components also showed group A completely separated from other three groups, while the latter overlapped together. The discriminant functions of the four populations of bighead carp were established based on 6 morphological characters that differed significantly among the populations. The accuracy of discrimination from four populations was 92.7%, 87.5%, 64.3% and 87.5%, respectively, indicating the reliability of discriminant functions. In summary, the morphological characteristics of bighead carp fed feedstuff changed significantly. However, the morphological characters of fish head have not changed, while the trunk from head to the dorsal fin is significantly increased, hence giving an illusion of smaller head. It is the first study to prove the bighead carp fed feedstuff still have the big head features, laying the theoretical foundation for rearing bighead carp with feedstuff.

Key words: *Aristichthys nobilis*; feedstuff feeding; morphological variation; multivariate analysis

Corresponding author: LI Xuemei. E-mail: lanqian1985@163.com

Funding projects: National Key Technology R & D Program of China (2012BAD25B05); National Natural Science Foundation of China (31502142)