

黄条鲷(*Seriola aureovittata*)形态度量 与内部结构特征*

李 荣¹ 徐永江^{2,3} 柳学周^{2,3①} 史 宝^{2,3}

(1. 大连富谷水产有限公司 大连 116400; 2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室
青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;
3. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266071)

摘要 为了全面认识黄条鲷(*Seriola aureovittata*)生物学特性,利用传统测量方式、框架测度法、几何形态测量法和解剖学方法,观察和测度了其外部形态特征、可量与可数性状及内部结构特征,并模拟构建了黄条鲷形态性状度量框架图。观察了黄条鲷不同部位鳞片和耳石形态特征,比较了各形态度量性状的比值关系,发现全长与体长比值、下颌长与上颌长比值、尾柄长与尾柄高比值变异较小,表明这些性状关联密切。利用统计分析方法建立了黄条鲷全长(TL)与体重(BW)之间的关系模型: $BW=2.1652TL^2-140.35TL+2479.9$ ($R^2=0.9812$),体高(BH)与体重间的关系模型: $BW=0.7575BH^{3.0059}$ ($R^2=0.9816$)。研究分析表明,在黄条鲷的 12 个可量形态性状中,除眼径外的其他 11 个形态性状间均存在显著相关关系。通径分析进一步揭示了体高和体长性状是影响体重的 2 个关键因素,其对体重的决定程度分别达 41.34% 和 13.11%,它们对体重的共同决定程度达 42.88%。本研究观察描述了黄条鲷内部结构特征,其比肠长为 0.62–0.69,脊椎骨数量为 23–25,总出肉率可达 75%。本研究结果可为黄条鲷种质判别、系统分类及人工繁育与养殖技术开发提供形态认知依据。

关键词 黄条鲷; 形态性状; 度量判别; 内部结构

中图分类号 S917.4 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2017)01-0142-08

黄条鲷(*Seriola aureovittata*)属鲈形目(Perciformes)、鲈科(Carangidae)、鲷属(*Seriola*),是全球海洋中已知 9 种鲷属鱼类之一,又称黄尾鲷、拉氏鲷,俗称黄腱牛、黄腱子、油甘。黄条鲷是一种在全球海洋广泛分布的大洋性鱼类,朝鲜半岛、日本、非洲南部、澳大利亚、美国、印度、南非海域、印度洋及我国的黄海、渤海、东海、南海均有分布(张春霖, 1955; 刘静等, 2015),属于中上层温水性远洋洄游鱼类,具有较高的经济价值和营养价值。黄条鲷具有形

体大、生长快、肉质鲜美、营养丰富等特点,是一种适宜于深远海抗风浪网箱养殖和陆基工厂化养殖生产的新经济鱼种。

形态特征是鱼类等动物最直观的种质表现之一(熊鹰等, 2015),形态度量是研究生物表观形态性状的手段,可提供目标种类识别的关键形态参数,同时也可为其分类地位判别、系统进化分析、种质资源鉴定、遗传育种目标性状筛选等研究提供技术支持(李思发, 1998)。另外,通过分析形态特征与生态因

* 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2016PT07)、青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划专项项目(2015ASK-J02-03)和国家鲆鲽类产业技术体系项目(CARS-50)共同资助 [This work was supported by Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (NO.2016PT07), the Scientific and Technological Innovation Project Financially Supported by Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology (2015ASKJ02-03) and China Agriculture Research System (CARS-50)]. 李 荣, E-mail: fglirong@163.com

① 通讯作者: 柳学周, 研究员, E-mail: liuxz@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2016-08-05, 收修改稿日期: 2016-09-02

子变量(捕食策略、摄食方式、运动行为、繁殖习性等)的关系, 可为分析物种种群的形态功能多样性和生物多样性研究提供重要的依据(张堂林等, 2008; Farré *et al.*, 2013)。近年来, 我国开展了黄条鲷的人工繁育和养殖技术开发, 但缺乏对其生物学特性的系统认识, 不利于相关研究的顺利开展。本研究以新兴养殖鱼种—黄条鲷为研究对象, 利用传统测量方式、框架测度法、几何形态测量法、统计分析等手段, 通过对其表观性状和内部结构等形态特征的系统测度与分析, 以期通过形态性状的选择为黄条鲷分类、种质与选育提供形态学证据与判别依据, 同时, 可为深入认识黄条鲷养殖生物学特性和开展人工养殖技术研发提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源

2015–2016 年, 采集了来自青岛和大连周边黄海域野生以及人工养殖的黄条鲷样本, 共 66 尾。实验鱼全长为 27–131 cm, 体重为 227–22560 g。实验鱼采集后以 MS-222 麻醉致死(400 mg/L), 用于外部形态性状测量和内部结构观察。

1.2 外部形态性状度量

1.2.1 可数性状测量 对采集的黄条鲷样本计数胸鳍条数、背鳍条数、腹鳍条数、尾鳍条数、臀鳍条数、侧线鳞数、鳃弓数、鳃耙数、幽门盲囊数等可数性状。

1.2.2 可量性状测度 利用卷尺和游标卡尺测量全长、体长、体高、头长、眼后头长、眼径、下颌长、上颌长、尾柄高、尾柄长、眼间距 11 个可量性状, 测量精确到 1 mm。利用电子天平测量体重, 精确到 0.01 g。

1.2.3 鳞片与耳石形态观察 取黄条鲷头部、背部、腹部、尾部鳞片, 以生理盐水(0.9%)浸泡后, 利用 NIKON 80i 显微镜观察拍照外部形态, 利用其自

带的图像处理系统(NIS elements F 4.30)进行图像处理。自听囊中取出耳石, 对其形态进行拍照观察。

利用数码相机(Cannon D90, 日本)对所有测定样本进行拍照, 制作数码图像, 并与其形态学数据对应。按照李思发(1998)的方法, 对黄条鲷外部形态框架进行模拟构建。

1.3 内部结构观察

解剖黄条鲷, 对内脏各组织器官的结构与形态特征进行观察、描述、拍照, 绘制内部结构示意图。利用电子天平对内脏、肝脏进行称量, 精确到 0.01 g。同时, 将肠道完整取出后, 将生理弯曲展开, 测量肠道长度并记录, 精确到 1 mm, 用于计算比肠长。将肌肉分离后计数脊椎骨数量。

1.4 数据统计处理

利用 Microsoft Excel 2013 和统计软件 SPSS 21.0 对数据进行统计处理。对形态性状数据进行相关性分析, 并利用通径分析评价各形态性状对体重的影响效果, 参照王新安等(2008)。设置差异显著性水平, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 黄条鲷外部形态

黄条鲷体型为纺锤形, 侧扁, 体背部为蓝褐色, 腹部为灰白色, 最为明显的特征是体侧自吻端经眼径至尾柄有 1 条明显的金黄色纵带, 各鳍具有黄色边缘。其具体的可数性状见表 1, 其他外部形态特征描述见张春霖(1955)。

黄条鲷通体被圆鳞, 鳞片外观可见鳞焦区、鳞顶区和鳞基区 3 个部分。头部鳞片鳞基区相对较为尖锐, 背部鳞片较为圆钝, 腹部和尾部鳞片也有凸出的鳞基区(图 1)。黄条鲷耳石整体呈齿状, 其前端有内凹, 外观可见清晰的耳石核心区域, 但未能清楚分辨年轮结构(图 2)。

表 1 黄条鲷可数性状

Tab.1 Countable characters of *S. aureovittata*

可数性状 Countable characters	指标 Indices	可数性状 Countable characters	指标 Indices
背鳍数 Dorsal fin number	I, VI, I -31–35	侧线鳞数 Lateral line scale number	175–210
臀鳍数 Anal fin number	II, I -19–22	侧线上鳞数 Scale above lateral line	26–31
胸鳍数 Pectoral fin number	20–22	侧线下鳞数 Scale below lateral line	49–55
腹鳍数 Ventral fin number	I -5	鳃弓数 Branchial arch number	8
尾鳍数 Caudal fin number	17	鳃耙数 Gill raker number	6–9+14–22

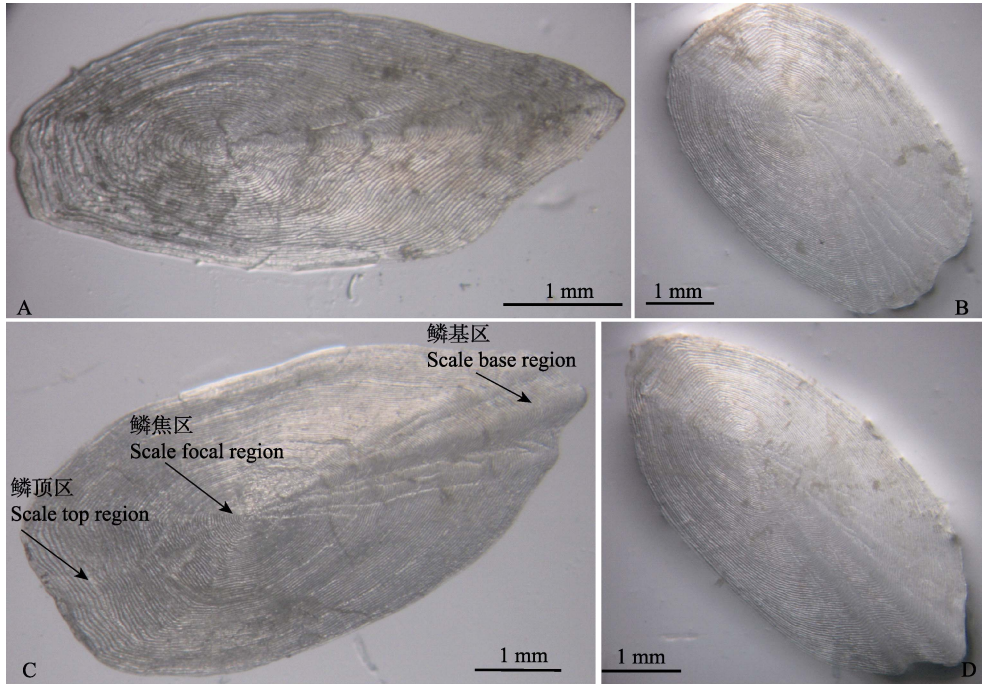


图 1 黄条鲮不同部位鳞片形态特征

Fig.1 The morphology of scales from different body areas of *S. aureovittata*

A: 头部鳞片; B: 背部鳞片; C: 尾部鳞片; D: 腹部鳞片

A: A scale from head area; B: A scale from dorsal area; C: A scale from tail area; D: A scale from ventral area



图 2 黄条鲮耳石背面与腹面形态特征

Fig.2 The external morphology of otolith of *S. aureovittata*

左: 背面; 右: 腹面

Left: Back side; Right: Ventral side

2.2 黄条鲮形态度量性状

黄条鲮的形态度量性状及其测度依据见图 3。其中, 上颌长(UJL)、下颌长(LJL)和眼间距(ID)以实际

测度数据为依据, 未在图中标注。黄条鲮各形态度量性状的比例关系见表 2, 其中, 全长与体长比值的标准差最小(0.066), 其次为下颌长与上颌长的比值(0.171)、尾柄长与尾柄高的比值(0.212), 表明这些性状关联较为密切, 变异较小。按照黄条鲮各形态性状数据及其比值关系, 模拟其形态度量框架(图 4)。

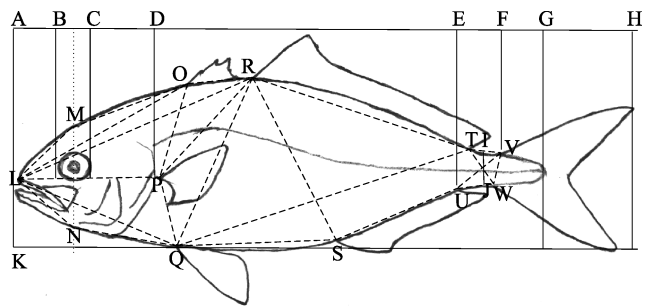


图 3 黄条鲮表观形态度量特征

Fig.3 The schematic diagram of morphologic measurement of *S. aureovittata*

AH: 全长(Total length, TL); AG: 体长(Soma length, SL); AK: 体高(Body height, BH); AD: 头长(Head length, HL);

CD: 眼后头长(Post orbital length, POL); BC: 眼径(Eye diameter, ED); EF: 尾柄长(Caudal peduncle length, PL); IJ: 尾柄高(Caudal peduncle depth, PD)

尾柄高(Caudal peduncle depth, PD)

表 2 黄条鲷形态度量性状比
Tab.2 Ratios between measurable characters of *S. aureovittata*

度量性状比 Ratio between measurable characters	范围 Range	平均值±标准差 Mean±SD
全长/体长 TL/SL	1.078-1.314	1.157±0.066
体长/体高 SL/BH	2.474-4.418	3.570±0.650
体长/头长 SL/HL	2.547-4.642	3.658±0.519
体长/眼后头长 SL/POL	5.280-9.800	7.974±1.209
头长/眼径 HL/ED	3.300-10.042	4.947±1.503
体长/尾柄长 SL/PL	11.417-20.091	15.797±1.730
尾柄长/尾柄高 PL/PD	0.800-1.625	1.250±0.212
头长/眼间距 HL/ID	2.200-5.333	2.647±0.420
体长/上颌长 SL/UJL	5.833-13.768	9.092±1.622
体长/下颌长 SL/LJL	5.269-14.257	8.519±2.198
下颌长/上颌长 LJL/UJL	0.778-1.565	1.099±0.171

2.3 形态性状间关系分析

统计分析表明,黄条鲷全长(TL)与体重(BW)间关系符合如下公式:

$$BW=2.1652TL^2-140.35TL+2479.9 (R^2=0.9812)$$

体高(BH)与体重之间的关系符合如下公式:

$$BW=0.7575BH^{3.0059} (R^2=0.9816)$$

利用相关分析方法计算了各表型性状间的相关性(表 3)。结果显示,所分析的 12 个可量表型性状中,除眼径外其他 11 个性状间均存在显著正相关关系($P<0.05$)。

表 3 黄条鲷各表型性状间相关性分析

Tab.3 Correlation coefficients among morphometric traits of *S. aureovittata*

性状 Traits	TL	SL	BH	HL	POL	ED	ID	UJL	LJL	PD	PL	BW
TL	1.000	0.983**	0.929**	0.933**	0.932**	0.128	0.630**	0.885**	0.910**	0.755**	0.841**	0.957**
SL		1.000	0.921**	0.945*	0.941**	0.102	0.649**	0.877**	0.908**	0.753**	0.806**	0.953**
BH			1.000	0.962**	0.958**	0.174	0.755**	0.927**	0.964**	0.761**	0.711**	0.976**
HL				1.000	0.960**	0.162	0.725**	0.935**	0.938**	0.792**	0.709**	0.965**
POL					1.000	0.093	0.711**	0.912**	0.939**	0.764**	0.701**	0.956**
ED						1.000	0.399*	0.053	0.076	-0.160	0.152	0.161
ID							1.000	0.649**	0.656**	0.322	0.395*	0.753**
UJL								1.000	0.944**	0.832**	0.674**	0.921**
LJL									1.000	0.862**	0.703**	0.952**
PD										1.000	0.598**	0.770**
PL											1.000	0.721**
BW												1.000

*表示差异显著($P<0.05$), **表示差异极显著($P<0.01$)。下同

Asterisk (*) indicates significant difference ($P<0.05$), double asterisk (**) indicates highly significant difference ($P<0.01$). The same as below

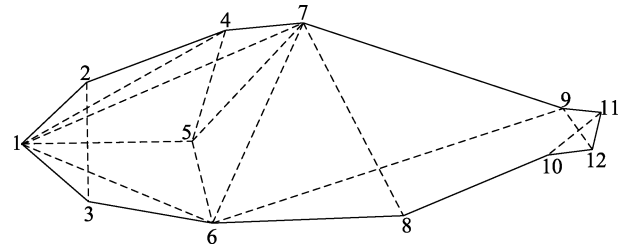


图 4 黄条鲷表观形态性状度量框架图
Fig.4 The truss network of morphologic measurement of *S. aureovittata*

- 1: 吻端起点; 2: 过眼睛中点垂直线与背部边缘交叉点;
 - 3: 过眼睛中点垂直线与腹部边缘交叉点; 4: 第 1 背鳍起点; 5: 胸鳍起点; 6: 腹鳍起点; 7: 第 2 背鳍起点;
 - 8: 臀鳍起点; 9: 第 2 背鳍终点; 10: 臀鳍终点;
 - 11: 尾鳍背部起点; 12: 尾鳍腹部起点
- 1: Starting point of mouth; 2: Junction between the line passing through eye center and dorsal edge; 3: Junction between the line passing through eye center and ventral edge; 4: Starting point of the first dorsal fin; 5: Starting point of pectoral fin; 6: Starting point of ventral fin; 7: Starting point of the second dorsal fin; 8: Starting point of anal fin; 9: Ending point of the second dorsal fin; 10: Ending point of anal fin; 11: Starting point of dorsal tail fin; 12: Starting point of ventral tail fin

利用通径分析方法,分析了黄条鲷11 个形态性状对体重的影响程度。结果显示,体高(BH)和体长(SL)对体重(BW)的影响较大,其通径系数(直接作用 P_i) (决定系数)分别为 41.34%和 13.11%,而体高与体长分别为 0.643 和 0.362 ($P<0.01$),其对体重的决定程度

表 4 黄条鲷形态性状对体重影响的通径分析
Tab.4 Effects of phenotypical traits on body weight of *S. aureovittata* using path analysis

性状 Trait	相关系数(<i>r</i>) correlation coefficient	直接作用(<i>P_i</i>) Direct effect	间接作用 Indirect effect			共线性诊断 Collinearity diagnostics		决定系数 Determination coefficient	
			Σ	BH	SL	Tol	VIF	BH	SL
BH	0.976**	0.643**	0.592	-	0.592	0.264	6.557	0.4134	0.4288
SL	0.953**	0.362**	0.333	0.333	-	0.153	5.874	-	0.1311

(决定系数)分别为 41.34% 和 13.11%，而体高与体长对体重的共同决定程度达 42.88%，它们对体重的共同决定程度可达 54.45%，表明体高和体长是影响体重的 2 个主要形态性状。

2.4 内部结构特征

黄条鲷口前位，口裂大，口腔内无尖齿，上下颌骨上分布细密的小骨齿，上颌顶部中间有 1 块呈菱形的肉红色的硬质犁骨，上有细密犁齿，其两侧分布有 2 块三角状硬质腭骨，上有细密腭齿。骨质舌呈钝圆形。口腔与咽腔无明显界限，后端与粗短的食道连接，食道与胃联通。鳃弓两侧各有 4 个，只有第 1 鳃弓具有齿状鳃耙，鳃耙数为 6-9+14-22。脑体积较大，可占体重的 0.05%-0.15%。耳石分布在脑后听囊内，与细长的半规管连接组成膜迷路，构成听觉系统。心脏体积较大，位于腹腔前端和鳃弓腹面的围心腔内。黄条鲷内部结构示意图见图 5。

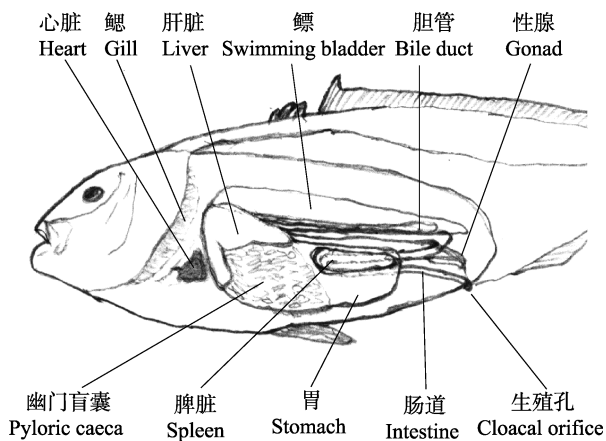


图 5 黄条鲷内部结构示意图

Fig.5 The internal anatomy of *S. aureovittata*

黄条鲷胃与口咽腔连接，体积较大，贲门部、幽门部和盲囊部分界明显，摄食后整个胃部呈囊状，可占内脏团体积的 30% 以上，食物以玉筋鱼(*Ammodytes personatus*)为主。胃壁较薄，内褶皱较多，外部具有长条状胃盲囊，数量在 120 个左右。肝脏 2 叶，右叶长度和体积大于左叶，包覆于胃的上部。人工养殖鱼

内脏团多被脂肪组织包被，野生鱼脂肪组织相对较少。肠道细长，前端与胃幽门底部联通，后端与泄殖孔联通，比肠长(肠道长/全长)值为 0.62-0.69。肠道有 2 个生理弯曲，在腹腔内呈“之”字形分布，整体包被在内脏的脂肪组织中。胆管细长条状，前端连接肝脏，位于内脏团上方与鳔之间，后端延伸至腹腔末端。脾脏呈长条状，近胃的一端相对钝圆，位于胃的下方，肠道的生理弯曲内。肾脏紧贴脊柱从头部后方向腹腔末端延伸，外面覆盖一层结缔组织膜，其外整体被鳔包围遮盖。鳔体积较大，紧贴脊椎骨从前向后延伸分布，被覆 2 层膜，1 层为结缔组织膜，1 层为白膜，可占腹腔体积的 1/3。性腺 1 对，位于腹腔的后方，呈对称分布，上有血管分布，末端开口于生殖孔。发育的卵巢为黄色，前端可延伸至胃的下方，填充整个内脏腔，将肠道、脾脏等内脏器官包被。

黄条鲷脊椎骨为 23-25 节，净出肉率(去内脏、头部和骨骼重量)可达 75%。

3 讨论

鱼类形态学主要是研究鱼类的外部特征和内部结构，了解各部位结构间的相关关系及机能，分析各器官的原始类型及其发展进化过程(李林春, 2007)。研究并认识目标鱼类的形态性状是进行种质鉴定、分类鉴别与人工养殖技术开发的重要前提(熊邦喜等, 1996)。形态特征是物种多性状的集合，是遗传和环境因素共同作用的产物(Motta *et al*, 1991)。多变量形态度量学方法是基于框架位点而引入多元统计的一种分析方法，可对鱼类外部形态特征进行连续性差异分析(赵峰等, 2011)，其可靠性远高于传统的单性状分析。本研究利用形态度量学方法，测定了黄条鲷 12 个形态性状，并通过其形态性状间的比值分析和计算机模拟等，构建了黄条鲷形态框架图，为今后黄条鲷形态性状快速测定和种质判别提供了依据。黄条鲷是一种大洋性的具有洄游习性的的大型鱼类，在全球海洋有多个地理种群分布，且存在同种异名现象，如 *Seriola grandis* Castelnau、*Halatractus dorsalis* Gill、

Seriola zonata Mitchill (刘静等, 2015), 通过对其形态性状的判别和关系分析可建立不同地理群体黄条鲷的身份识别和鉴定技术。同时, 对鲷属鱼类的种间鉴定也具有重要的应用价值。

鱼类生活环境的差异决定了其形态也具有明显的不同, 这是鱼类对环境的一种适应性进化过程。体侧扁且呈梭形或者纺锤形的鱼类, 尾柄粗短而有力, 游泳及加速能力强, 从而能缩短捕食时间, 快速获取食物(Webb, 1984)。黄条鲷也具有粗短的尾柄, 纺锤形体型, 这可能也与其在水中快速游动与觅食的生态习性相适应。生态形态学指出, 鱼类的形态与其生态是相关的, 生态变化与形态变化是动态关系, 这是一种鱼类对环境选择压力的适应(张堂林等, 2008)。如鱼类口裂的相对或绝对大小与食物大小呈正相关, 也与食性呈正相关(Winemiller *et al.*, 1995; Piet, 1998)。洄游性的黄条鲷摄食后, 其胃体积和重量约占内脏的1/3, 表明其大体积的胃容量与饵料丰度和获取的季节性和地域性密切相关, 同时也与其口裂、体形等形态特征关系密切。今后应在行为学研究或渔业资源学研究领域对其形态与生态习性的关系进行深入研究和探讨, 为开发其人工繁育技术提供基础资料。

利用统计学方法分析养殖鱼类各性状间关系是进行人工选择育种的重要手段(王新安等, 2013)。其中, 多元分析(相关分析、通径分析、多元回归分析等)是较为常用的统计方法。通过综合考虑多个自变量与因变量的统计学关系, 在多个物种的选择育种研究中取得了较为理想的性状筛选效果, 如利用多元分析建立了红海理科鱼类、大西洋鲑鱼(*Salmo salar* L.)等鱼类的体长、体重与体脂肪含量的关系(Kora *et al.*, 2000; Dêbowski *et al.*, 1999), 凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)形态性状对体重的影响(刘小林等, 2004)等。黄条鲷具有生长速度快、肉质鲜嫩的特性, 其肌肉是生鱼片制作的上等材料, 因此, 其体重和出肉率等成为今后选择育种的潜在目标性状。本研究通过相关分析和通径分析, 发现黄条鲷11个形态性状间存在显著的相关性, 并探明了体高和体长是决定体重的2个关键形态性状。今后良种选育过程中可根据本研究结果, 通过形态性状的选择而达到成功选择目标性状的目的, 具有重要的生产应用价值。

耳石是鱼类的听觉器官, 利用耳石上的年轮或者微量元素变化来进行鱼类年龄判别和群体地理划分已在鱼类生态学研究中广泛应用(Begg *et al.*, 2005)。鱼类耳石的形态特征不但与其遗传特性密切相关, 而且受其生理活动和环境变化等影响较大, 因此, 不同的鱼类群体由于生活史和地理环境的差异可能会具

有种特异性的耳石形态特质(窦硕增等, 2012)。本研究发现, 黄条鲷耳石呈齿状, 其上无法通过打磨等方法观察到形态明显的年轮, 尚不能利用耳石进行有效的年龄鉴定。这可能与其洄游习性及快速生长特性相关。而国外学者利用脊椎骨纵截面纹纹(Shiraishi *et al.*, 2010)和耳石微量元素特性(Gillanders *et al.*, 2005)鉴定了黄条鲷的年龄, 取得了较好的判别效果, 值得借鉴。

肠道是鱼类的主要消化器官, 直接参与食物的消化与吸收。比肠长是能直观反映鱼类食性的重要指标, 一般肉食性鱼类比肠长较小(<1), 植物食性鱼类比肠长较大(>1), 而杂食性鱼类比肠长最大(毕冰等, 2011)。黄条鲷比肠长为0.62–0.69, 符合肉食性鱼类的特点, 但其肠道较为细长且具有2个生理弯曲, 而胃容量大, 饱食后可占内脏重量的30%以上, 这可能与其应对洄游途中可能出现的短时间食物短缺状况有关。黄条鲷脊椎较为粗大, 与其他鱼类相比, 其脊椎骨节数较少(齐国山等, 2008), 这种形态特征可能与适应其快速游泳习性相关联, 今后可通过行为学方法深入研究。本研究发现, 黄条鲷内脏团多被脂肪组织包围, 特别是人工养殖条件下, 腹腔内脂肪组织几乎可完全包被内脏器官, 这是人工高强度投喂和饵料种类(鲜杂鱼)造成的, 容易造成养殖鱼脂肪肝等问题, 甚至会影响商品鱼肉质(艾庆辉等, 2016)。人工养殖过程中, 应通过调节饵料种类及投喂频率进行体脂肪沉积与代谢的调控, 以提高养殖商品鱼的肌肉品质。

参 考 文 献

- Ai QH, Yan J, Mai KS. Research progresses of lipids and fatty acids transport in fish. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(4): 859–868 [艾庆辉, 严晶, 麦康森. 鱼类脂肪与脂肪酸的转运及调控研究进展. *水生生物学报*, 2016, 40(4): 859–868]
- Begg GA, Campana SE, Fowler AJ, *et al.* Otolith research and application: Current directions in innovation and implementation. *Marine and Freshwater Research*, 2005, 56(5): 477–483
- Bi B, Sun ZW, Mao TQ, *et al.* Relationship between digestive tract structure and feeding habits in common carp, grass carp, silver carp and bighead carp. *Chinese Journal of Fisheries*, 2011, 24(1): 26–29 [毕冰, 孙中武, 毛天强, 等. 鲤、鲢、鳙、草鱼消化道结构与食性的研究. *水产学杂志*, 2011, 24(1): 26–29]
- Dêbowski P, Dobosz S, Robak S, *et al.* Fat level in body of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), and Sea trout (*Salmo trutta m. trutta* L.), and method of estimation from morphometric data. *Archives of Polish Fisheries*, 1999, 7(2): 237–243
- Dou SZ, Yu X, Cao L. Otolith shape analysis and its application

- in fish stock discrimination: A case study. *Oceanologica et Limnologia Sinica*, 2012, 43(4): 702–712 [竇硕增, 于鑫, 曹亮. 鱼类矢耳石形态分析及其在群体识别中的应用实例研究. *海洋与湖沼*, 2012, 43(4): 702–712]
- Farré M, Tuset VM, Maynou F, *et al.* Geometric morphology as an alternative for measuring the diversity of fish assemblages. *Ecological Indicators*, 2013, 29(6): 159–166
- Gillanders BM, Joyce TC. Distinguishing aquaculture and wild yellowtail kingfish via natural elemental signatures in otoliths. *Marine and Freshwater Research*, 2005, 56(5): 693–704
- Kora HA, Tsuchimoto MU, Miyata KA, *et al.* Estimation of body fat content from standard body length and body weight on cultured red sea bream. *Fisheries Science*, 2000, 66(2): 365–371
- Li LC. Fish culture biology-fish morphology and function. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007 [李林春. 鱼类养殖生物学: 鱼类形态与功能. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007]
- Li SF. Study on genetic characteristics of dominant freshwater cultured fishes in China. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1998 [李思发. 中国淡水主要养殖鱼类种质研究. 上海: 上海科学技术出版社, 1998]
- Liu J, Chen YX, Ma L. Fishes of the Bohai Sea and Yellow Sea. Beijing: Science Press, 2015, 172 [刘静, 陈咏霞, 马琳. 黄渤海鱼类图志. 北京: 科学出版社, 2015, 172]
- Liu XL, Wu CG, Zhang ZH, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Penaeus vannamei*. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 857–862 [刘小林, 吴长功, 张志怀, 等. 凡纳对虾形态性状对体重的影响效果分析. *生态学报*, 2004, 24(4): 857–862]
- Motta PJ, Kotrschal KM. Correlative, experimental, and comparative evolutionary approaches in ecomorphology. *Netherlands Journal of Zoology*, 1991, 42(2–3): 400–415
- Piet JG. Ecomorphology of a size-structured tropical freshwater fish community. *Environmental Biology of Fishes*, 1998, 51(1): 67–86
- Qi GS, Li D, Chen SQ, *et al.* Morphological characteristics and internal structure of *Platichthys stellatus* Pallas. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(1): 1–11 [齐国山, 李迪, 陈四清, 等. 星突江鲮的形态特征及内部结构研究. *中国水产科学*, 2008, 15(1): 1–11]
- Shiraishi T, Ohshimo S, Yukami R. Age, growth and reproductive characteristics of gold striped amberjack 1 *Seriola lalandi* in the waters off western Kyushu, Japan. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2010, 44(2): 117–127
- Wang XA, Ma AJ, Xu K, *et al.* Relationship between morphometric attributes and body weight in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus*. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(3): 540–545 [王新安, 马爱军, 许可, 等. 大菱鲆幼鱼表型形态性状与体重之间的关系. *动物学报*, 2008, 54(3): 540–545]
- Wang XA, Ma AJ, Zhuang ZM, *et al.* Effects of morphometric attributes on body weight of *Takifugu rubripes* (Temminck et Schlegel). *Oceanologica et Limnologia Sinica*, 2013, 44(1): 135–140 [王新安, 马爱军, 庄志猛, 等. 红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)形态性状对体重的影响效果. *海洋与湖沼*, 2013, 44(1): 135–140]
- Webb PW. Body form, locomotion and foraging in aquatic vertebrates. *American Zoologist*, 1984, 24(1): 107–120
- Winemiller KO, Kelso-Winemiller LC, Brenkert AL. Ecomorphological diversification and convergence in fluvial cichlid fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 1995, 44(1): 235–261
- Xiong BX, Chen ZF, Gao Y, *et al.* Study on correlation between age and growth of fishes with different body shape. *Reservoir Fisheries*, 1996(5): 22–26 [熊邦喜, 陈志奋, 高云, 等. 不同体形鱼类的年龄与生长相关表达式的拟合研究. *水利渔业*, 1996(5): 22–26]
- Xiong Y, Zhang M, Zhang H, *et al.* Preliminary research on relationship between fish functional morphology and trophic position. *Journal of Lake Science*, 2015, 27(3): 466–474 [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. *湖泊科学*, 2015, 27(3): 466–474]
- Zhang CL. Survey report on fishes of the Bohai Sea and Yellow Sea. Beijing: Science Press, 1955, 116–119 [张春霖. 黄渤海鱼类调查报告. 北京: 科学出版社, 1955, 116–119]
- Zhang TL, Li ZJ, Cao WX. Advances in studies on the ecomorphology of fish. *Journal of Fisheries of China*, 2008, 32(1): 152–160 [张堂林, 李钟杰, 曹文宣. 鱼类生态形态学研究进展. *水产学报*, 2008, 32(1): 152–160]
- Zhao F, Ma CY, Zhuang P, *et al.* Morphological variation and phylogenetic relationship among *Pampus* fishes in East China Sea. *Marine Fisheries*, 2011, 33(2): 138–143 [赵峰, 马春艳, 庄平, 等. 东海常见鲷属鱼类的形态差异及系统进化关系探讨. *海洋渔业*, 2011, 33(2): 138–143]

(编辑 马瑾艳)

Morphometric Analysis and Internal Anatomy of Yellowtail Kingfish (*Seriola aureovittata*)

LI Rong¹, XU Yongjiang^{2,3}, LIU Xuezhou^{2,3}^①, SHI Bao^{2,3}

(1. Dalian Fugu Fishery Co. Ltd., Dalian 116400; 2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071)

Abstract Yellowtail kingfish, *Seriola aureovittata*, is a globally distributed marine pelagic fish species, and is of great economic importance all over the world. Many countries including China has launched the artificial culture of this species due to its fast growth, nutritional value and market value. The biological characteristics are basic knowledge for aquaculture biology and especially for taxonomy and evolutionary ecology. To understand the biological characteristics of *S. aureovittata*, both external morphological traits and internal anatomy were investigated by using traditional, morphometric, anatomical and statistical measurement methods. The truss network of *S. aureovittata* was constructed by computer simulation. The morphology of otolith and scale was described. Calculating the ratios between morphological traits, suggested the ratios of total length (TL)/soma length (SL), lower jaw length (LJL)/upper jaw length (UJL), peduncle length (PL)/peduncle distance (PD) were closely correlated. The mathematical correlation models between TL, body height (BH) and body weight (BW) were calculated with the formulas: $BW=2.1652TL^2-140.35TL+2479.9$ ($R^2=0.9812$) and $BW=0.7575SL^{3.0059}$ ($R^2=0.9816$). The correlation analysis showed that 11 morphological traits were significantly correlated except for the eye diameter (ED). The path analysis indicated that BH and SL were main factors affecting BW, with the determining coefficient of 41.34% and 13.11%, respectively, and the synergistic determining coefficient was 42.88%. The internal structure was also described. For *S. aureovittata*, the ratios of intestine length/total length were between 0.62 and 0.69, and the vertebra number was between 23 and 25. Furthermore, total meat yield could achieve 75% of BW. Our results provided the morphometric tools for species identification, systematic taxonomy, breeding and aquaculture production of *S. aureovittata*.

Key words *Seriola aureovittata*; Morphological traits; Morphometric identification; Internal anatomy

① Corresponding author: LIU Xuezhou, E-mail: liuxz@ysfri.ac.cn