

褐菖鲉(*Sebasticus marmoratus*)幼鱼生物学表型对体质量的影响效应*

腾娴雅¹ 蒋宏雷² 李有志¹ 斯烈钢^{1, 2} 王志铮¹

(1. 浙江海洋大学水产学院 浙江舟山 316022; 2. 宁波市海洋与渔业研究院 浙江宁波 315048)

摘要 探究影响水产养殖动物体质量的关键生物学表型性状组合, 进而揭示其体质量增长对策, 对指导水产养殖动物的种质甄别与科学养殖具重要现实意义。随机选取象山沪港海域板式网箱内养殖 3 个月的褐菖鲉幼鱼同生群个体 60 尾为研究对象, 以全长(X_1)、体长(X_2)、体宽(X_3)、体高(X_4)、头宽(X_5)、侧线长(X_6)、尾柄高(X_7)、体质量(BW)、净体质量(NW)、内脏质量(W_1)、肠质量(W_2)、肝质量(W_3)、胃质量(W_4)、鳃质量(W_5)、心质量(W_6)为生物学测定指标, 采用多元分析方法定量研究了体尺性状和称量性状对体质量的影响效应。结果表明: (1) 经统计, 所涉称量性状测定值较体尺性状更显离散, 两者变异系数的波动范围分别为 38.27%~89.86%和 13.86%~17.78%, 排序分别为 $W_4 > W_1 > W_6 > W_2 > W_3 > W_5 > NW > BW$ 和 $X_3 > X_4 > X_6 > X_5 > X_2 > X_7 > X_1$; 经计算, 消化脏器与内脏间的质量比呈 $W_3 > W_4 > W_2$ ($P < 0.05$); (2) 相关分析显示, 所涉体尺性状和称量性状均与 BW 呈极显著相关($P < 0.01$), 两者相关系数波动范围分别为 0.414~0.990 和 0.899~0.961, 排序分别为 $NW > W_3 > W_1 > W_6 > W_5 > W_2 > W_4$ 和 $X_1 > X_4 > X_2 > X_5 > X_6 > X_3 > X_7$; (3) 经通径分析, 被保留的称量性状组合和体尺性状组合的直接作用排序分别为 $NW > W_3 > W_2 > W_4 > W_6$ 和 $X_4 > X_5 > X_6 > X_7$; 经决定程度分析和复相关分析, 称量性状组合对 BW 的总决定系数和复相关指数均为 0.989, 体尺性状组合则均为 0.961; (4) 经偏回归分析, 分别获得了基于称量性状组合和体尺性状组合的 BW 估算方程。研究结果可为褐菖鲉速生型种质遴选与科学养殖提供参考。

关键词 褐菖鲉幼鱼; 体质量; 体尺性状; 称量性状; 多元分析

中图分类号 Q789; S965; Q954 **doi:** 10.11693/hyhz20220400095

褐菖鲉(*Sebasticus marmoratus*)隶属于鲉形目、鲉科、平鲉亚科、菖鲉属(《福建鱼类志》编写组, 1985), 系广布于日本列岛、朝鲜半岛和我国南北沿海岛礁区的暖水性底层鱼类(王志铮等, 2002)。其肉质鲜嫩、营养经济价值高, 性凶猛、贪食且具定居性强和卵胎生繁殖习性等特质, 既是岛礁区理想的海钓对象和增殖鱼种, 也是海水网箱养殖的优良鱼类品种(吴常文等, 1997; 吴常文, 1999)。最近三十年间, 随着我国海洋休闲渔业和海洋牧场建设的蓬勃开展, 褐菖鲉

在休闲游钓和增养殖渔业上的开发利用潜力已日益受到相关学者和沿海渔业行政主管部门的关注与重视。其中, 如何有效破解褐菖鲉生长缓慢且渔获和养成规格均较小这一现实问题(陈舜等, 2008), 一直是困扰褐菖鲉增养殖产业健康发展的重大产业瓶颈, 但迄今为止国内鲜见有关该鱼速生型种质选育方面的研究报道。

水产养殖动物的体质量增长对策既取决于其种质特异性, 更与其养殖模式及所处环境密切相关。研

* 宁波市重大科技任务攻关项目, 2022Z183 号; 国家海洋公益专项, 201405029 号; 宁波市本级增殖放流技术指导 and 效果评价, 2015-2021; 象山港海洋牧场示范区五期建设项目环境监测及功效调查评估, 2017-2018。腾娴雅, 硕士研究生, E-mail: 598032997@qq.com; 同等贡献第一作者: 蒋宏雷, 高级工程师, E-mail: jhl928@126.com

通信作者: 王志铮, 教授, E-mail: wzz_1225@163.com

收稿日期: 2022-04-13, 收修改稿日期: 2022-06-12

究表明,表征水产动物体型框架的体尺表型和代谢强度的称量表型是决定体质量的两个互为关联的方面(牟恩铤等, 2021a, 2021b)。因此,探究影响水产养殖动物体质量的关键体尺性状组合和称量性状组合,进而聚焦并揭示其体质量增长对策,无疑对指导水产养殖动物的种质甄别与科学养殖具重要现实意义。自刘小林等(2002)在国内首次引入通径分析方法开展水产动物体尺性状对体质量影响效果分析以来,此类研究在最近的二十年间一直较为活跃,但涉及鲈科鱼类的仅为许氏平鲈(刘阳等, 2019),而有关称量性状对体质量影响效果分析的则仅见中华鳖(牟恩铤等, 2021a)。鉴于此,本研究团队于2019年7月以网箱养殖时长3个月的褐菖鲈同生群幼鱼为研究对象,拟从体尺性状与称量性状两个维度共同聚焦生物学表型对褐菖鲈体质量的影响效应,以期为指导褐菖鲈速生型种质遴选与科学养殖提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼

实验用褐菖鲈源自象山港湾水产苗种有限公司,系人工养殖于宁波市象山县西沪港海域箱体规格为5 m×3 m×6 m的板式网箱内养殖时长为3个月的褐菖鲈同生群幼鱼。随机捞取其中体形完整、运动活泼、反应敏捷、无病无伤的褐菖鲈幼鱼60尾作为实验对象后,即刻运至该公司5#育苗室并充气暂养于直径1 m、桶高1.5 m的塑料容器内,停食24 h后即刻开展生物学表型测定。

1.2 生物学测定

实验鱼逐一编号后,按江柳等(2021)的实验仪器、步骤和方法,逐尾开展生物学表型测定。其中,称量性状测量指标为体质量(BW)、净体质量(NW)、内

脏质量(W_1)、肠质量(W_2)、肝质量(W_3)、胃质量(W_4)、鳃质量(W_5)和心质量(W_6);体尺性状测量指标为全长(X_1)、体长(X_2)、体宽(X_3)、体高(X_4)、头宽(X_5)、侧线长(X_6)和尾柄高(X_7),各性状测量部位如图1所示。

1.3 数据处理

整理所测结果,应用Excel软件计算各项测定性状的均值、标准差和变异系数,并比较各消化脏器与内脏间质量比的差异显著性(视 $P<0.05$ 为显著水平);应用SPSS23.0软件,在计算各项测定性状间相关系数的基础上,按序开展称量性状和体尺性状对体质量的通径分析、决定程度分析和复相关分析,并以总决定系数或复相关指数值不低于0.85(刘小林等, 2002),且共线性诊断指示的方差容差大于0.1或膨胀系数小于10为原则,确定影响体质量的关键称量性状组合和体尺性状组合;经偏回归分析,分别以关键称量性状组合和体尺性状组合为自变量,建立可用以估算体质量的线性回归方程,并通过方差分析检验其拟合度。

2 结果

2.1 参数统计

由表1可见,本研究所涉称量性状和体尺性状测定值的变异系数波动范围分别为38.27%~89.86%和13.86%~17.78%,排序分别呈 $W_4>W_1>W_6>W_2>W_5>W_3>NW>BW$ 和 $X_3>X_4>X_6>X_5>X_2>X_7>X_1$,表明各称量性状测定值均较体尺性状更显离散,具更大的可塑性,以NW为代表的惰性部分较以内脏和各脏器为代表的活性部分在质量上更具稳定性。由图2可见,各消化脏器与内脏间的质量比呈 $W_3>W_4>W_2$,并结合表1所示的变异系数,表明肝脏是褐菖鲈幼鱼最大的消化器官和质量最为稳定的活性脏器。

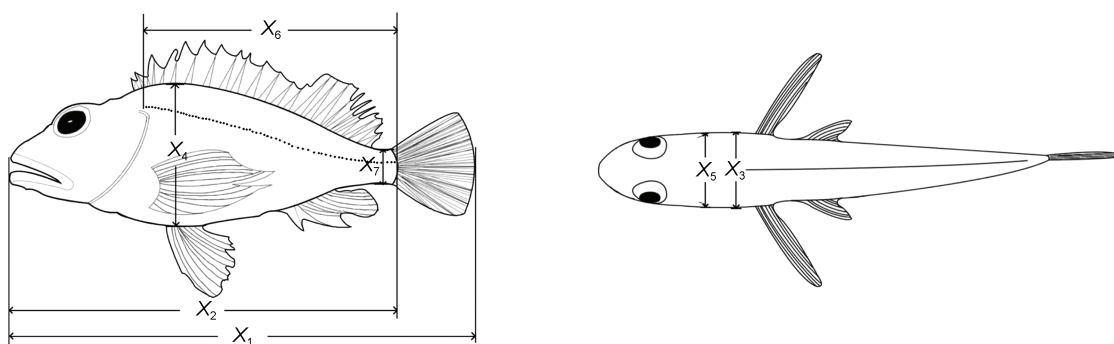


图1 褐菖鲈生物学表型性状测量示意图

Fig.1 Pictures showing the parts for measuring morphometric attributes of *S. marmoratus*

注:左为侧面观,右为腹面观。图中标 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 分别表示全长、体长、体宽、体高、头宽、侧线长和尾柄高

表 1 生物学表型的统计量描述($n=60$)
Tab.1 Statistical description of biological phenotypes

性状类别	测定性状	代码	Mean±SE	CV/%
称量性状 /g	体质量	BW	3.58±1.37	38.27
	净体质量	NW	3.17±1.22	38.49
	内脏质量	W_1	0.2187±0.1664	76.09
	肠质量	W_2	0.0222±0.0134	60.36
	肝质量	W_3	0.0665±0.0338	50.83
	胃质量	W_4	0.0483±0.0434	89.86
	鳃质量	W_5	0.0843±0.0475	56.35
体尺性状 /mm	心质量	W_6	0.0092±0.0057	61.96
	全长	X_1	56.78±7.87	13.86
	体长	X_2	47.56±7.22	15.18
	体宽	X_3	9.17±1.63	17.78
	体高	X_4	15.48±2.42	15.63
	头宽	X_5	8.94±1.37	15.32
	侧线长	X_6	33.80±5.19	15.36
	尾柄高	X_7	4.14±0.60	14.49

2.2 相关分析

由表 2 可见, 本研究所涉称量性状和体尺性状均与 BW 呈极显著相关($P<0.01$), 两者的相关系数波动

范围分别为 0.414~0.990 和 0.899~0.961, 排序分别呈 $NW>W_3>W_1>W_6>W_5>W_2>W_4$ 和 $X_1>X_4>X_2>X_5>X_6>X_3>X_7$, 表明 BW 与称量性状间的相关性较体尺性状具更高的分辨率, 以 NW 为代表的惰性部分与 BW 的相关系数远高于以内脏和各脏器质量为代表的活性部分, 活性脏器中与 BW 相关系数最大的为肝脏, 最小的则为胃, 前者为后者的 2 倍以上; 除 W_4 与 W_1 、 W_2 、 W_3 均未呈显著相关($P>0.05$), 与 W_5 、 W_6 均仅呈显著相关($P<0.05$)外, 其余各性状间均呈极显著相关($P<0.01$), 表明表 1 所示 W_4 过高的变异系数是导致其与 BW 和其他称量性状间相关性均相对偏弱的主因。

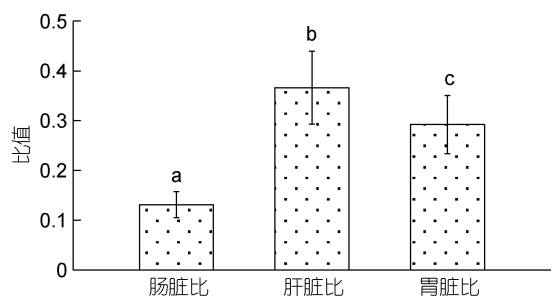


图 2 消化脏器与内脏间的质量比
Fig.2 Mass ratio between digestive organs and viscus
注: 柱上不同字母表示组间存在显著差异($P<0.05$)

表 2 生物学表型性状与体质量间的相关系数($df=58$)
Tab.2 Correlation coefficient between biological phenotypes traits and body weight

性状类别	性状代码	BW	NW	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6
称量性状	NW	0.990**	1						
	W_1	0.833**	0.835**	1					
	W_2	0.569**	0.539**	0.537**	1				
	W_3	0.843**	0.828**	0.752**	0.437**	1			
	W_4	0.414**	0.405**	0.209	0.242	0.243	1		
	W_5	0.589**	0.606**	0.591**	0.343**	0.582**	0.301*	1	
	W_6	0.622**	0.655**	0.627**	0.537**	0.695**	0.329*	0.601**	1
性状类别	性状代码	BW	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
体尺性状	X_1	0.961**	1						
	X_2	0.954**	0.973**	1					
	X_3	0.915**	0.887**	0.877**	1				
	X_4	0.960**	0.933**	0.929**	0.916**	1			
	X_5	0.936**	0.917**	0.901**	0.886**	0.907**	1		
	X_6	0.933**	0.953**	0.942**	0.864**	0.902**	0.890**	1	
	X_7	0.899**	0.887**	0.896**	0.837**	0.861**	0.831**	0.887**	1

注: $r_{(0.05,58)}=0.254$, $r_{(0.01,58)}=0.330$; 上标*、**分别表示性状间的相关系数达到显著水平($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$)。下同

表 6 称量性状和体尺性状对体质量的复相关系数
Tab.6 Multiple correlation coefficients of quality traits and body size traits on body weight

因变量	性状类别	回归自由度	剩余自由度	<i>R</i>	<i>R</i> ²	校正后 <i>R</i> ²	标准误差
BW	称量性状	5	54	0.995 ^e	0.989	0.988	0.149
	体尺性状	4	55	0.980 ^d	0.961	0.958	0.283

注: $r_{0.01(5, 54)}=0.488$; $r_{0.01(4, 55)}=0.460$

2.5 偏回归分析与方差分析

由表 7 可见, 所有被保留性状的偏回归系数均达到显著水平($P<0.05$)。分别以这些称量性状组合和体尺性状组合为自变量, 建立的用以估算 BW 的多元线性回归方程分别为 $BW(W) = 0.989NW + 8.280W_2 + 5.863W_3 + 1.218W_4 - 27.810W_6 + 0.067$ 和 $BW(L) = 0.247X_4 + 0.254X_5 + 0.044X_6 + 0.371X_7 - 5.551$ 。方差分析显示, 上述方程的回归系数均达到极显著水平($P<0.01$) (表 8)。经回归预测, 上述两方程所得估算值与实测值间均无显著差异($P<0.05$)。综上可知, 本研究所建基于称量性状组合和体尺性状组合的 BW 估算方程均精确反映了褐菖鲉幼鱼生物学表型与体质量间的真实关系。

3 讨论

3.1 关于影响 BW 的关键称量性状组合

按生理代谢功能, 可将鱼类的称量性状划分为活性部分和惰性部分。就本研究所涉称量性状而言, 仅 NW 属惰性部分。“器官代谢活性假说”指出, 动物的惰性部分和活性部分与体质量间的比例有随其生长分别呈上升和下降的趋势(Itazawa *et al*, 1983; Oikawa *et al*, 1992)。已有研究也表明, 鱼类活性脏器的质量与其体质量间虽均呈显著正相关(徐娟娟等, 2021), 但其脏器系数与其体质量则均呈负相关(Grim *et al*, 2012; Luo *et al*, 2013)。无疑, 本研究中 NW 成为影响 BW 关键称量性状组合中的核心变量的结果,

表 7 称量性状和体尺性状对体质量的偏回归分析
Tab.7 Partial regression analysis of quality traits and body size traits on body weight

性状类别	自变量	代码	偏回归系数±标准差	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
称量性状	回归截距	C	0.067±0.054	1.229	0.224
	净体质量	NW	0.989±0.032	31.000	0.000
	肝质量	W_3	5.863±1.128	5.195	0.000
	肠质量	W_2	8.280±1.801	4.596	0.000
	胃质量	W_4	1.218±0.501	2.433	0.018
	心质量	W_6	-27.810±5.171	-5.379	0.000
体尺性状	回归截距	C	-5.551±0.261	-21.282	0.000
	体高	X_4	0.247±0.042	5.838	0.000
	头宽	X_5	0.254±0.069	3.686	0.001
	侧线长	X_6	0.044±0.02	2.229	0.030
	尾柄高	X_7	0.371±0.139	2.662	0.010

表 8 称量性状和体尺性状对体质量的多元回归方差分析
Tab.8 Multiple regression analysis of variance of quality traits and body size traits on body weight

性状类别	统计指标	平方和 SS	自由度 <i>df</i>	均方 MS	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
称量性状	回归	111.041	5	22.208	999.805	0.000
	残差	1.199	54	0.022		
	统计	112.241	59			
体尺性状	回归	107.849	4	26.962	337.655	0.000
	残差	4.392	55	0.080		
	统计	112.241	59			

注: $F_{0.01(5, 54)}=3.38$; $F_{0.01(4, 55)}=3.68$

既是其与 BW 间的相关系数(表 2)和对 BW 的直接作用(表 3)、决定系数(表 5)在诸称量性状中均为最大的综合反映,也进一步印证了牟恩璇等(2021a)认为动物体质量的增长既依赖活性脏器代谢能耗的持续增加,更表露为惰性部位对代谢产物的不断积累,以及动物体质量的增长更倚重惰性部位物质积累的观点的可靠性。

马细兰等(2009)指出,胃、肝、肠作为动物重要的消化脏器,是物质消化代谢的主要场所,其发达程度直接影响动物的生长速度。“器官代谢活性假说”认为,活性器官质量和体质量的比值与其代谢水平呈正相关(Itazawa *et al.*, 1983; Oikawa *et al.*, 1992)。已有研究表明,鱼类消化脏器的发达程度与其食性有着较为密切的关系,其中肉食性种类的消化脏器以肝系数为最大(叶元士等, 1997; 钱云霞等, 2001),而杂食性种类则以肠系数为最大(杨金海等, 2009; 王帅等, 2014)。故, W_3 成为本研究中影响 BW 关键称量性状组合 $NW-W_3-W_6-W_2-W_4$ 的重要变量的结果,既是其与 BW 间的相关系数(表 2)和对 BW 的直接作用(表 3)、决定系数(表 5)在诸活性器官中均为最大的综合反映,也与肝脏作为褐菖鲉这一肉食性凶猛鱼类最大的消化脏器和质量最为稳定的活性脏器(表 1, 表 2)的地位相称。

研究发现,伏击取食动物与积极摄食的动物相比,具摄食频度低、饱食机会少和饥饿时间长,以及饥饿期间消化脏器质量小和摄食后消化脏器质量大幅增加的特质(Secor *et al.*, 1998; Secor, 2001; 付世建等, 2008)。故,表 1 所示脏器质量变异系数高达 50.83%~76.09%,和表 2 所示各活性脏器与 BW 间的相关系数均明显低于体尺性状的结果,与吴常文(1999)报道的自然海域钓获的褐菖鲉大多处于空胃状态,其中肠胃内均无食物的占比高达 66.34%的情形相吻,表明伏击摄食是褐菖鲉获取食物的主要策略。摄食代谢和运动代谢是动物体内两个相互关联的重要生理过程(Hicks *et al.*, 2004; Fu *et al.*, 2007)。有研究者根据这两个生理过程的相对重要性分为优先保证某一过程的“优先模式”和同时保证这两个过程的“添加模式”(Blaikie *et al.*, 1996; Alsop *et al.*, 1997)。褐菖鲉属具强领域性行为的定居性岛礁区鱼类(吴常文等, 1997; 吴常文, 1999),其食物链等级、伏击取食行为和穴居隐匿习性均与倾向于摄食代谢“优先模式”的南方鲇相仿(付世建等, 2008),致使其心脏需具备支持爆发性摄食运动的强大动力,这可能是 W_6 被纳入

影响 BW 关键称量性状组合的主要原因。至于表 4 所示 W_6 对 BW 的直接作用呈负相关的情形,则与其伏击取食有着较为密切的关系,即随着伏击爆发性摄食运动频次的不断增加,由此产生的运动氧债及相关逆境反应势必引起心肌有氧代谢占比的持续性下降,从而导致心脏受损程度随 BW 增加而持续提高。

3.2 关于影响 BW 的关键体尺性状组合

本研究中 X_4 被选留为影响 BW 核心变量的结果(表 4),与刘阳等(2019)对人工培育 F_3 代许氏平鲈的研究结果完全一致,表明体高是影响人工养殖条件下平鲈亚科鱼类体质量的核心性状。体型框架是表征鱼类肥瘦程度和体质强弱程度的综合性表型性状。故,由 X_4 与 X_5 构成的鱼体立体空间所映射的躯体横截面积和隐含的脏器容纳量信息,和由 X_4 与 X_7 构成的鱼体平面空间所映射的躯体侧表面积信息,既综合反映了鱼体的肥瘦程度、体质强壮程度及脏器代谢水平,致使 X_4 、 X_7 被纳入影响 BW 的关键体尺性状组合中,也进一步揭示了 X_4 - X_5 组合因涵盖消化脏器质量信息,致使其对 BW 的决定系数明显大于 X_4 - X_7 组合以及 X_5 成为影响 BW 关键体尺性状组合 X_4 - X_5 - X_6 - X_7 中相对重要变量(表 6)的原因。

褐菖鲉系具昼伏夜出生活习性的肉食性凶猛鱼类。已有研究表明,鱼类侧线系统具认知和定位猎物的作用,以夜间捕食为主的凶猛性鱼类主要借助视觉和侧线机械感觉进行捕食(梁旭方, 1998; 梁旭方等, 1998)。韦璐等(2014)研究发现,处于湍急混流环境中的褐菖鲉为过滤嘈杂水流中的无效背景噪音以强化食物和敌害等有效信号刺激,形成了一套复杂的分枝型管道侧线结构。无疑,对于以伏击取食为主的褐菖鲉而言, X_6 被选留为影响 BW 的关键变量的原因,应与发达的侧线系统可显著提高其捕食成功率有关。

3.3 基于生物学表型的 BW 增长机制和对策探讨

本研究获得的以 NW 为核心变量和 W_3 为相对重要变量的影响 BW 的关键称量性状组合 $NW-W_3-W_2-W_4-W_6$ (表 3),和以 X_4 为核心变量和 X_5 为相对重要变量的影响 BW 的关键体尺性状组合 X_4 - X_5 - X_6 - X_7 (表 4),聚焦的以机体肥瘦程度和体质强壮程度为核心,脏器消化代谢水平为重点和伏击取食能力为基础的褐菖鲉 BW 增长机制,既真实反映了其通过强化侧线系统对猎物的认知和定位功能,和心脏对爆发性伏击摄食运动的支持作用,固化并形成了更倾向于摄食代谢“优先模式”的以伏击取食为主的摄食对策,也客观揭示了其通过实施以牺牲运动能量效率为特征的

伏击取食摄食策略,用以换取显著提升其消化代谢强度并加速推进机体物质积累的 BW 增长对策。由此,褐菖鲉基于其生物学表型形成的通过实施节能型食物获取策略以显著提升机体消化代谢强度,和通过提高消化代谢水平以促进机体物质积累的三维有机互动的 BW 增长途径,无疑对其有着极为重要的生存价值。鉴于褐菖鲉强领域性的分布特征、伏击取食为主的摄食习性和强大的食物消化吸收能力,建议在海区网箱养殖过程中加强投饲策略研究,以切实提升饲料利用效率并促进其 BW 的快速增长。

4 结论

(1) 褐菖鲉幼鱼称量性状测定值较体尺性状更离散,和活性脏器质量与 BW 间的相关系数明显均小于体尺性状的原因,与其所采取的以伏击为主获取食物的摄食策略有关。

(2) 影响褐菖鲉幼鱼 BW 的关键称量性状组合为 $NW-W_3-W_2-W_4-W_6$ 。其肥瘦程度更倚重惰性部位的物质积累,是 NW 成为影响 BW 的核心变量的主因;肝脏作为褐菖鲉幼鱼最大的消化器官和质量最为稳定的活性脏器,是 W_3 成为影响 BW 的相对重要变量的主因。

(3) 影响褐菖鲉幼鱼 BW 的关键体尺性状组合为 $X_4 > X_5 > X_6 > X_7$ 。 X_4 作为表征平鲉亚科鱼类肥瘦程度和体质强壮程度的关键体型框架性状,故成为影响 BW 的核心变量; X_4-X_5 组合因涵盖消化脏器质量信息,使 X_5 成为影响 BW 的相对重要变量。

(4) 褐菖鲉通过强化侧线系统对猎物的认知和定位功能,和心脏对爆发性伏击摄食运动的支持作用,固化了以牺牲运动能量效率为特征的伏击取食摄食策略,形成了以此换取显著提升消化代谢强度并加速推进机体物质积累的 BW 增长对策,从而在生物学表型水平形成了通过实施节能型食物获取策略显著提升机体消化代谢强度,和通过提高消化代谢水平促进机体物质积累的三维有机互动的 BW 增长途径。

(5) 针对褐菖鲉强领域性、伏击取食摄食习性和强大的消化吸收能力,建议在海区网箱养殖过程中加强投饲策略研究。

参 考 文 献

《福建鱼类志》编写组, 1985. 福建鱼类志-下卷[M]. 福州: 福建科学技术出版社: 450-451.
马细兰, 张勇, 周立斌, 等, 2009. 脊椎动物雌雄生长差异的研究进展[J]. 动物学杂志, 44(2): 141-146.

王帅, 姚娜, 范镇明, 等, 2014. 饥饿对叶尔羌高原鳅消化道指数及消化酶活性的影响[J]. 西北农业学报, 23(9): 14-18.
王志铮, 吴常文, 侯伟芬, 等, 2002. 褐菖鲉仔、稚鱼生长特性及其关键变态期的研究[J]. 海洋科学, 26(5): 1-4.
韦璐, 宋佳坤, 潘连德, 等, 2014. 褐菖鲉和松江鲈侧线形态的比较[J]. 上海海洋大学学报, 23(6): 801-809.
叶元士, 林仕梅, 罗莉, 等, 1997. 黄颡鱼消化能力与营养价值的研究[J]. 大连水产学院学报, 12(2): 23-30.
付世建, 曹振东, 谢小军, 2008. 鱼类摄食代谢和运动代谢研究进展[J]. 动物学杂志, 43(2): 150-159.
刘小林, 常亚青, 相建海, 等, 2002. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析[J]. 海洋与湖沼, 33(6): 673-678.
刘阳, 韩慧宗, 王腾腾, 等, 2019. 许氏平鲉体质量与形态性状的表型特征分析[J]. 渔业科学进展, 40(5): 117-125.
江柳, 傅荣兵, 蒋宏雷, 等, 2021. 大黄鱼幼鱼表型性状对体质量和净体质量的影响效果分析[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 40(3): 242-246.
牟恩璇, 申屠琰, 叶文婷, 等, 2021a. 池塘专养模式下中华鳖养成组织脏器质量对体质量的影响效果分析[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 40(6): 498-504.
牟恩璇, 申屠琰, 熊玉凤, 等, 2021b. 池塘专养模式下中华鳖养成组织形态性状对体质量和净体质量的影响效应[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 40(1): 22-28, 79.
杨金海, 章龙珍, 庄平, 等, 2009. 人工养殖长鳍篮子鱼消化道指数及 3 种消化酶活性分布[J]. 海洋科学, 33(7): 43-50.
吴常文, 1999. 浙江舟山近海褐菖鲉 *Sebastiscus marmoratus* 生物学研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 18(3): 185-190, 226.
吴常文, 王志铮, 王伟洪, 等, 1997. 褐菖鲉 *Sebastiscus marmoratus* 增养殖技术研究[J]. 浙江水产学院学报, 16(3): 170-174.
陈舜, 肖云朴, 伍德瀛, 等, 2008. 褐菖鲉网箱养殖试验初报[J]. 海洋科学, 32(8): 5-8, 33.
钱云霞, 杨文鸽, 陆开宏, 2001. 大银鱼消化道指数和消化酶的初步研究[J]. 水利渔业, 21(5): 8-9.
徐娟娟, 王卓群, 舒秀君, 等, 2021. 吉富罗非鱼成鱼脏器系数的研究[J]. 渔业科学进展, 42(4): 90-97.
梁旭方, 1998. 鱼类侧线机械感觉猎物识别和定位的研究进展[J]. 动物学杂志, 33(2): 49-52.
梁旭方, 何大仁, 1998. 鱼类摄食行为的感觉基础[J]. 水生生物学报, 22(3): 278-284.
ALSOP D H, WOOD C M, 1997. The interactive effects of feeding and exercise on oxygen consumption, swimming performance and protein usage in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. The Journal of Experimental Biology, 200(17): 2337-2346.
BLAIKIE H B, KERR S R, 1996. Effect of activity level on apparent heat increment in Atlantic cod, *Gadus morhua* [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53(9): 2093-2099.
FU S J, CAO Z D, PENG J L, 2007. Effect of feeding and fasting on excess post-exercise oxygen consumption in juvenile southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative

- Physiology, 146(3): 435-439.
- GRIM J M, DING A A, BENNETT W A, 2012. Differences in activity level between cownose rays (*Rhinoptera bonasus*) and Atlantic stingrays (*Dasyatis sabina*) are related to differences in heart mass, hemoglobin concentration, and gill surface area [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 38(5): 1409-1417.
- HICKS J W, BENNETT A F, 2004. Eat and run: prioritization of oxygen delivery during elevated metabolic states [J]. Respiratory Physiology & Neurobiology, 144(2/3): 215-224.
- ITAZAWA Y, OIKAWA S, 1983. Metabolic rates in excised tissues of carp [J]. Experientia, 39(2): 160-161.
- LUO Y P, WANG W, ZHANG Y R, *et al*, 2013. Effect of body size on organ-specific mitochondrial respiration rate of the largemouth bronze gudgeon [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 39(3): 513-521.
- OIKAWA S, TAKEMORI M, ITAZAWA Y, 1992. Relative growth of organs and parts of a marine teleost, the porgy, *Pagrus major*, with special reference to metabolism-size relationships [J]. Japanese Journal of Ichthyology, 39(3): 243-249.
- SECOR S M, 2001. Regulation of digestive performance: a proposed adaptive response [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 128(3): 563-575.
- SECOR S M, DIAMOND J, 1998. A vertebrate model of extreme physiological regulation [J]. Nature, 395(6703): 659-662.

EFFECTS OF BIOLOGICAL PHENOTYPES ON BODY WEIGHT IN JUVENILES OF SEA RUFFE (*SEBASTISCUS MARMORATUS*)

TENG Xian-Ya¹, JIANG Hong-Lei², LI You-Zhi¹, SI Lie-Gang^{1,2}, WANG Zhi-Zheng¹

(1. School of Fisheries, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Ningbo Ocean and Fishery Research Institute, Ningbo 315048, China)

Abstract The growth strategy of aquaculture animals depends not only on their germplasm specificity but also closely related to their aquaculture mode and growing environment. Exploring the combination of critical biological phenotypic traits affecting the body weight of aquaculture animals and then revealing the countermeasures for the growth of body weight has important practical significance for guiding the germplasm screening and scientific aquaculture of aquatic animals. 60 juveniles of sea ruffe (*Sebastiscus marmoratus*) from the same congenital group that had been cultured for three months in plate cages in the Xihu-port sea area of Xiangshan were randomly selected as the research objects. The total length (X_1), body length (X_2), body width (X_3), body height (X_4), head width (X_5), lateral line length (X_6), caudal peduncle depth (X_7), body weight (BW), net body weight (NW), visceral weight (W_1), intestinal weight (W_2), liver weight (W_3), stomach weight (W_4), gill weight (W_5), and heart weight (W_6) were used as biological indicators. The multivariate analysis method was used to quantitatively study the effects of body size traits and weighing traits. The results showed that: (1) According to statistics, the measured values of the weighing traits were more discrete than those of the body size traits; the fluctuation ranges of the coefficients of variation of both were 38.27%~89.86% and 13.86%~17.78%, respectively, of which the ranking were $W_4 > W_1 > W_6 > W_2 > W_5 > W_3 > NW > BW$ and $X_3 > X_4 > X_6 > X_5 > X_2 > X_7 > X_1$, respectively; by calculation, the ratio of weight between digestive organs and internal organs presented $W_3 > W_4 > W_2$ ($P < 0.05$); (2) Correlation analysis showed that both the body size traits and weighing traits were extremely significantly correlated with BW ($P < 0.01$), and their correlation coefficients fluctuated in the range of 0.414 to 0.990 and 0.899 to 0.961, respectively; the rank of both were $NW > W_3 > W_1 > W_6 > W_5 > W_2 > W_4$ and $X_1 > X_4 > X_2 > X_5 > X_6 > X_3 > X_7$, respectively; (3) By the path analysis, the direct action sorts between the retained weighing trait combination and body size trait combination were $NW > W_3 > W_2 > W_4 > W_6$ and $X_4 > X_5 > X_6 > X_7$; through determination degree analysis and multiple correlation analysis, the total determination coefficient and multi-correlation coefficient of weighing trait combination on BW were both 0.989, while for the combination of body size traits, the value were both 0.961. (4) By partial regression analysis, the BW estimation equations based on weighing traits and body size traits were obtained respectively. The research results could provide a practical reference for selecting the fast-growing germplasm and scientific aquaculture of *S. marmoratus*.

Key words juveniles of sea ruffe; body weight; body size traits; weighing traits; multivariate analysis