

文章编号: 1004 - 2490(2022)05 - 0568 - 09

不同日龄中华蛸形态性状对体质量的影响分析及曲线拟合

孙以康^{1,2}, 李美帅^{1,2}, 陈四清², 张岩²,
常青², 李凤辉², 葛建龙², 边力²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东青岛 266071)

摘要: 为研究 60 日龄、100 日龄和 140 日龄不同生长阶段中华蛸 (*Octopus sinensis*) 形态性状对体质量的影响, 分别测定其全长 (TL)、腕长 (AL)、胴背长 (ML)、胴背宽 (MW) 和眼间距 (ED) 等形态性状和体质量 (W), 进行相关分析和通径分析, 计算形态性状和体质量之间的决定系数和通径系数, 分析各形态性状对体质量的关联程度, 建立形态性状对体质量的最优回归方程。结果表明, 不同日龄中华蛸形态性状对体质量的影响均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。影响体质量的主要形态指标在不同日龄存在差异, 60 日龄为胴背长、胴背宽和眼间距; 100 日龄为腕长、胴背长、胴背宽; 140 日龄为全长和胴背宽。60 日龄、100 日龄和 140 日龄形态性状对体质量 (Y) 的多元回归方程分别为: $Y = -0.039 + 0.006X_{ML} + 0.009X_{MW} + 0.003X_{ED}$, $Y = -0.796 + 0.013X_{AL} + 0.051X_{ML} + 0.048X_{MW}$, $Y = -2.878 + 0.044X_{TL} + 0.120X_{MW}$ 。3 种不同日龄中华蛸形态性状对体质量的决定系数之和均大于 0.85, 说明本研究得到的形态性状为影响中华蛸体质量的关键性状, 研究结果阐明了不同日龄中华蛸形态性状与体质量间的相关关系, 有助于完善和优化中华蛸的苗种培育技术。

关键词: 中华蛸; 形态性状; 相关分析; 通径分析; 多元回归方程

中图分类号: S 968.9 **文献标志码:** A

中华蛸 (*Octopus sinensis*) 是一种生活在北太平洋西部浅海海域的蛸类^[1], 在我国主要分布于东南沿海, 俗称母猪章、章鱼^[2], 是重要的经济性头足类。由于形态上的相似, 中华蛸曾被认为与分布在大西洋和地中海的真蛸 (*O. vulgaris*) 是同一物种。近年来, 基于形态学和分子生物学分析, 研究人员发现它们并非同一物种, 并将分布在西太平洋沿岸的种类称为中华蛸^[1,3]。中华蛸具有生长周期短、生长速度快、食物转化率高和产卵量大等优点, 是极具开发潜力的水产养殖新品种^[4-6]。但目前主要依靠捕捞野生幼体进行养

殖^[7], 苗种培育技术始终未获突破。近年来, 国内外学者已在中华蛸幼体发育^[8-9] 和饵料选择^[10-11] 等方面开展了研究工作。

形态性状和体质量是开展苗种培育工作的重要依据。通过相关分析和通径分析等统计学方法可以分析形态性状与体质量的相关关系, 明确影响体质量的关键形态性状, 指导苗种培育的顺利开展。形态性状和体质量的通径分析在鱼类、虾类、蟹类和贝类等水产动物中已得到广泛应用^[12-17]。在头足类中, 平洪领等^[18] 对曼氏无针乌贼 (*Sepiella maindroni*) 进行了体型性状对体

收稿日期: 2021 - 11 - 25

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助; 中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费项目 (2020GH02)

作者简介: 孙以康 (1996—), 男, 山东滨州人, 硕士研究生, 研究方向为头足类种质繁育。E-mail: 2863710911@qq.com

通信作者: 边力, 助理研究员。E-mail: bianli@ysfri.ac.cn

质量影响的分析,发现胴长和体宽对体质量的影响最大;蒋湘等^[19]以野生日本乌贼(*Sepiella japonica*)群体为研究对象进行了相关分析和通径分析,认为胴长、体高和第一对腕长对体质量起决定作用。目前,关于蛸类幼体阶段形态性状与体质量相关关系的研究未见报道。本实验以60日龄、100日龄和140日龄中华蛸为研究对象,对形态性状与体质量进行相关分析和通径分析,明确了影响中华蛸体质量的主要形态性状及其直接作用和间接作用大小,建立了不同日龄中华蛸形态性状与体质量的线性回归方程,以期有助于完善和优化中华蛸的苗种培育研究。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验所用中华蛸样品于2020年在山东省烟台市开发区天源水产有限公司牟平基地人工繁育,在室内水泥池(长、宽、高为6 m × 5 m × 1.5 m)养殖,水温21 ~ 23 °C,盐度28 ~ 32, pH 7.8 ~ 8.4。

1.2 实验方法

在中华蛸60日龄(浮游-底栖过渡阶段)、100日龄(底栖阶段)和140日龄(幼蛸阶段)时分别随机取40尾幼体,电子分析天平测量体质量(W)(精确到0.001 g),游标卡尺(精确到0.01 mm)测量全长(total length, TL)、腕长(arm length, AL)、胴背长(mantle length, ML)、胴背宽(mantle width, MW)和眼间距(eyes distance, ED)。

全长为中华蛸胴背中线最后端至最长腕顶

端的长度;腕长为中华蛸最长腕的基部至腕顶端的长度;胴背长为中华蛸胴背中线最后端至两眼间中点的长度;胴背宽为胴部背面的最大宽度;眼间距为两眼间最大距离。

1.3 数据分析

参考杜家菊和陈志伟^[20]的方法,运用SPSS 20.0,对60日龄、100日龄和140日龄中华蛸的各性状数据进行统计分析,计算各参数的平均值、标准差和变异系数。对各形态性状数据进行相关分析、体质量通径分析,计算决定系数及通径系数,构建不同日龄中华蛸形态性状对体质量的多元回归方程,并对通径系数及回归方程进行检验,分析形态性状对体质量的影响程度。

决定系数分为2种,单个性状对体质量决定系数公式为:

$$d_i = P_i^2 \quad (1)$$

两个性状对体质量的共同决定系数公式为:

$$d_{ij} = 2r_{ij} \times P_i \times P_j \quad (2)$$

式(1)、式(2)中, P_i 、 P_j 为两个性状分别对体质量的通径系数, r_{ij} 为两个性状间的相关系数。

2 结果与分析

2.1 形态性状统计

表1列出了不同日龄中华蛸的形态性状和体质量的描述性统计结果。结果显示,60日龄、100日龄和140日龄的体质量变异系数在所有性状中最大,分别为11.06%、7.59%和8.53%,60日龄中华蛸形态性状中变异系数最大的为腕长,100日龄形态性状中变异系数最大的为全长,140日龄形态性状中变异系数最大为胴背宽。

表1 不同日龄中华蛸体质量和形态性状的描述性统计

Tab.1 Descriptive statistics for the body weight and morphometric traits of *O. sinensis* at different days after hatching

性状 Trait	60日龄 60 d			100日龄 100 d			140日龄 140 d		
	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 /% CV	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 /% CV	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 /% CV
全长/mm TL	18.70	1.92	10.27	46.35	2.29	4.94	80.26	2.77	3.45
腕长/mm AL	8.60	0.90	10.45	28.22	0.75	2.66	50.86	2.56	5.03
胴背长/mm ML	6.90	0.62	8.92	12.78	0.45	3.52	20.05	0.64	3.19
胴背宽/mm MW	6.21	0.32	5.22	10.47	0.5	4.78	17.72	0.94	5.30
眼间距/mm ED	4.40	0.43	9.71	9.51	0.17	1.79	13.15	0.49	3.73
体质量/g W	0.071	0.007	11.06	0.738	0.056	7.59	2.743	0.234	8.53

2.2 各性状间的相关系数

不同日龄中华蛸各个性状间相关系数见表2,各形态性状和体质量的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$)。60日龄的各形态性状与体质量相关系数由大到小依次为:胴背长 > 胴背宽 > 全长 > 眼间距 > 腕长,最高为0.959;100日龄的各形态性状与体质量相关系数由大到小依次为:胴背宽 > 胴背长 > 腕长 > 眼间距 > 全长,最高为0.963;140日龄的各形态性状与体质量相关系数由大到小依次为:全长 > 胴背宽 > 腕长 > 眼间距 > 胴背长,最高为0.947。

2.3 各形态性状对体质量的通径系数及作用分析

由表3可知,对体质量具有显著影响的主要形态性状在不同日龄存在差异,其中不同日龄中华蛸的胴背宽对体质量均有极显著影响($P < 0.01$)。60日龄对体质量的直接作用最为显著的是胴背长,直接作用最小的为眼间距,胴背长、胴

背宽和眼间距对体质量均有极显著影响($P < 0.01$),直接作用均大于间接作用;100日龄对体质量的直接作用最为显著的是胴背长,直接作用最小的为腕长,腕长、胴背长、胴背宽对体质量均有极显著影响($P < 0.01$),间接作用均大于直接作用;140日龄对体质量的直接作用最为显著的是全长,直接作用最小的为胴背宽,全长和胴背宽对体质量均有极显著影响($P < 0.01$),直接作用均大于间接作用。

2.4 形态性状对体质量的决定程度分析

中华蛸形态性状对体质量的决定系数如表4所示,结果表明,60日龄、100日龄和140日龄中华蛸形态性状对体质量的总决定系数分别为0.957、0.972和0.941。60日龄和100日龄的两个性状共同作用对体质量的决定程度中,胴背长和胴背宽的协同作用最大,分别为0.322和0.317,140日龄的全长和胴背宽协同作用最大,为0.445。

表2 不同日龄中华蛸各性状间的相关系数

Tab.2 Phenotype correlation coefficient among traits of *Octopus sinensis* at different days after hatching

日龄 Days after hatching	性状 Trait	全长 TL	腕长 AL	胴背长 ML	胴背宽 MW	眼间距 ED	体质量 W
60	全长 TL	1	0.931**	0.960**	0.909**	0.843**	0.939**
	腕长 AL		1	0.917**	0.864**	0.851**	0.896**
	胴背长 ML			1	0.915**	0.865**	0.959**
	胴背宽 MW				1	0.884**	0.951**
	眼间距 ED					1	0.904**
	体质量 W						1
100	全长 TL	1	0.675	0.623**	0.777**	0.554**	0.729**
	腕长 AL		1	0.916**	0.926**	0.793**	0.946**
	胴背长 ML			1	0.911**	0.790**	0.959**
	胴背宽 MW				1	0.757**	0.963**
	眼间距 ED					1	0.781**
	体质量 W						1
140	全长 TL	1	0.910**	0.755**	0.898**	0.896**	0.947**
	腕长 AL		1	0.784**	0.901**	0.879**	0.924**
	胴背长 ML			1	0.744**	0.727**	0.714**
	胴背宽 MW				1	0.839**	0.943**
	眼间距 ED					1	0.892**
	体质量 W						1

注:**表示各性状间的相关性达到极显著水平($P < 0.01$)

Note:** indicates that the correlation coefficient reaches significant level at $P < 0.01$ among traits

表 3 形态性状对中华蛸体质量的通径系数及作用分析

Tab. 3 Direct and indirect path coefficients of morphological trait to body weight in *Octopus sinensis*

日龄 Days after hatching	性状 Trait	相关系数 r_{ij} Correlation coefficient	直接作用 p_i Direct path coefficient		间接作用 Indirect path coefficient		
60	胴背长 ML	0.959 **	0.486 **	Σ	胴背长 ML	胴背宽 MW	眼间距 ED
	胴背宽 MW	0.951 **	0.362 **	0.472	0.589	0.331	0.141
	眼间距 ED	0.904 **	0.163 **	0.740	0.445	0.320	0.144
100	腕长 AL	0.946 **	0.179 **	Σ	腕长 AL	胴背长 ML	胴背宽 MW
	胴背长 ML	0.959 **	0.406 **	0.768	0.164	0.372	0.396
	胴背宽 MW	0.963 **	0.428 **	0.554	0.166	0.370	0.390
140	全长 TL	0.947 **	0.517 **	Σ	全长 TL	胴背宽 MW	
	胴背宽 MW	0.943 **	0.479 **	0.430	0.464	0.430	
				0.464	0.464		

注: ** 表示与体质量的相关性达到极显著水平 ($P < 0.01$)

Note: ** indicates that the correlation coefficient reaches significant level at $P < 0.01$

表 4 不同日龄中华蛸形态性状对体质量的决定系数

Tab. 4 Determinant coefficients of morphometric traits to body weight in *Octopus sinensis* at different days after hatching

日龄 Days after hatching	性状 Trait	全长 TL	腕长 AL	胴背长 ML	胴背宽 MW	眼间距 ED	体质量 W
60	全长 TL						
	腕长 AL						
	胴背长 ML			0.236	0.322	0.137	
	胴背宽 MW				0.131	0.104	
	眼间距 ED					0.027	
100	全长 TL						
	腕长 AL		0.032	0.133	0.142		
	胴背长 ML			0.165	0.317		
	胴背宽 MW				0.183		
	眼间距 ED						
140	体质量 W						
	全长 TL	0.267			0.445		
	腕长 AL						
	胴背长 ML						
	胴背宽 MW				0.229		
	眼间距 ED						
	体质量 W						

2.5 最优线性回归方程

通过逐步回归法,剔除标准化系数(偏回归系数)不显著的形态性状,建立不同日龄形态性状估算体质量的最优线性回归方程。

$$60 \text{ 日龄回归方程: } Y = -0.039 + 0.006X_{ML} + 0.009X_{MW} + 0.003X_{ED} \quad (3)$$

$$100 \text{ 日龄回归方程: } Y = -0.796 + 0.013X_{AL} + 0.051X_{ML} + 0.048X_{MW} \quad (4)$$

$$140 \text{ 日龄回归方程: } Y = -2.878 + 0.044X_{TL} + 0.120X_{MW} \quad (5)$$

式(3)~式(5)中, X_{ML} 为胴背长, X_{MW} 为胴背

宽, X_{ED} 为眼间距, X_{AL} 为腕长, X_{TL} 为全长, 单位均为 mm。

标准化系数显著性检验结果列于表 5, 不同日龄回归方程所保留形态性状的标准化系数均达到显著水平 ($P < 0.05$)。表 6 列出了多元回归方程方差分析结果, 60 日龄、100 日龄和 140 日龄阶段方程的回归关系都达到极显著水平 ($P < 0.01$), 回归效果明显, 说明本研究得到的回归方程对不同日龄中华蛸体质量的估算具有较好的参考价值。

表5 标准化系数(偏回归系数)

Tab.5 Standardized coefficient (partial regression coefficient)

日龄 Daily age	变量 Variable	非标准化系数 Unstandardized coefficient		标准化系数 Standardized coefficient	<i>t</i>	显著水平 Significance level
		系数 Coefficient	标准误差 Standard error			
60	常量 Constant	-0.039	0.007		-5.895	0.000
	胴背长 ML	0.006	0.001	0.486	5.848	0.000
	胴背宽 MW	0.009	0.002	0.362	4.067	0.000
	眼间距 ED	0.003	0.001	0.163	2.270	0.029
100	常量 Constant	-0.796	0.086		-9.254	0.000
	腕长 AL	0.013	0.007	0.179	2.067	0.046
	胴背长 ML	0.051	0.010	0.406	5.117	0.000
	胴背宽 MW	0.048	0.009	0.428	5.100	0.000
140	常量 Constant	-2.878	0.347		-8.306	0.000
	全长 TL	0.044	0.009	0.517	5.092	0.000
	胴背宽 MW	0.120	0.025	0.479	4.712	0.000

表6 多元回归方程方差分析表

Tab.6 Analysis of variance of multiple regression equation

日龄 Daily age	项目 Item	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	<i>F</i>	显著性水平 Significance level
60	回归 Regression	0.003	3	0.001	312.375	0.000
	残差 Residual	0.000 114	41	0.000		
	总计 Total	0.003	44			
100	回归 Regression	0.120	3	0.040	387.748	0.000
	残差 Residual	0.004	36	0.000		
	总计 Total	0.123	39			
140	回归 Regression	1.597	2	0.799	235.018	0.000
	残差 Residual	0.099	29	0.003		
	总计 Total	1.696	31			

3 讨论

对多数水产经济种类而言,决定个体体型框架的性状对体质量起主要影响作用^[21]。平洪领等^[18]研究表明,胴长与体宽是影响曼氏无针乌贼体质量的决定性性状,这与乌贼盾形或圆锥形的胴体体型特征相吻合。在对3种不同日龄中华蛸的形态性状和体质量相关关系研究中发现,不同日龄中华蛸的胴背宽对体质量均有极显著影响($P < 0.01$),说明胴背宽是影响中华蛸体质量的关键形态指标,这符合蛸类胴体形状呈卵圆形的特征。因而在实际育苗过程中可重点关注中华蛸胴背宽度,由胴背宽预估体质量大小。

在不同日龄期,影响中华蛸体质量的主要形态性状存在差异,60日龄为胴背长、胴背宽和眼间距,100日龄为腕长、胴背长、胴背宽,140日龄为全长、胴背宽。在其他水产动物研究中也发现了类似结果,李莉等^[22]研究表明,影响6月龄大

泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)体质量的主要性状是头长、全长、体高和体宽,影响12月龄的则是全长、体高、体宽和尾柄高;边力等^[23]研究表明,影响11月龄圆斑星鲈(*Verasper variegatus*)体质量的主要性状是全长和体高,影响14月龄的是全长、头长和体高,影响17月龄的是全长和体高。这说明,在不同的生长阶段,影响体质量的主要形态性状可能会发生变化,因此在实际育苗过程中应注意根据不同生长阶段调整判断标准。

在相关研究中,杜美荣等^[24]发现,影响大连海域栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)体质量的决定性性状是壳宽,青岛海域的是壳高,荣成海域的是壳长;李鸿鹏等^[25]研究表明,影响日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)露天越冬养成群体体质量和肉重的决定性性状是全长,影响海捕野生群体体质量和肉重的决定性性状分别为全长和头胸甲长;谷伟等^[26]研究发现,尾柄长对雌性虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)体质量决定系数最大,背吻

距对雄性体质量的决定系数最大;张新明和程顺峰^[27]研究表明,全长、腹部宽和头胸甲长是影响雌性口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)的主要性状,全长和腹部宽是影响雄性群体的主要性状,腹部宽和全长是影响混合群体主要性状;毕宜慧等^[28]研究表明,2~3月龄的暗纹东方鲀(*Takifugu fasciatus*)雌雄个体的形态性状存在差异,雄性个体相较于雌性个体的尾柄比例较窄,体型也相对窄;王立萍等^[29]研究结果显示,在半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)的早期发育过程中,不同性别的鱼体形态性状间存在差异。对于同一物种,除不同生长阶段外,不同生长环境下的不同种群形态性状对体质量的影响也会存在差异;在同一种群中,雌雄个体间的形态性状也会有较大差异。因此,不同群体以及不同性别的中华蛸形态性状与体质量的相关关系是否存在差异有待进一步研究。

在线性回归分析中,相关系数表示利用回归方程进行预测的可靠程度,只有单独决定系数及两性状决定系数总和大于或等于0.85时,才表明影响因变量的主要自变量已经确定^[23]。本实验中60日龄、100日龄和140日龄中华蛸形态性状对体质量决定系数的总和分别为:0.853、0.972和0.941,均大于0.85,说明影响体质量的重点形态性状已经找到,其他形态性状对于体质量的影响较小。决定3种时期的共同形态性状是胴背宽,胴背长、眼间距对60日龄的决定作用较大,腕长、胴背长对100日龄的决定作用较大,全长对140日龄的决定作用较大。本研究采用多元统计分析的方法,从形态性状中找到了影响中华蛸体质量的关键性状,在实际生产中可根据胴背宽来预测体质量大小,分别建立不同日龄回归方程,在实践中具有重要的指导价值。

参考文献:

- [1] GIEADALL I G. *Octopus sinensis* d'Orbigny, 1841 (Cephalopoda: Octopodidae): Valid species name for the commercially valuable East Asian common octopus[J]. *Species Diversity*, 2016, 21(1): 31-42.
- [2] 董正之. 中国近海头足类的地理分布[J]. *海洋与湖沼*, 1978, 9(1): 108-118.
DONG Z Z. On the geographical distribution of the cephalopods in the Chinese water [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*. 1978, 9(1): 108-118.
- [3] AMOR M D, NORMAN M D, ROURA A, et al. Morphological assessment of the *Octopus vulgaris* species complex evaluated in light of molecular-based phylogenetic inferences [J]. *Zoologica Scripta*, 2017, 46(3): 275-288.
- [4] IGLESIAS J, OTERO J J, MOXI C C, et al. The completed life cycle of the octopus (*Octopus vulgaris*, Cuvier) under culture conditions: Paralarval rearing using artemia and zoeae, and first data on juvenile growth up to 8 months of age [J]. *Aquaculture International*, 2004, 12(4-5): 481-487.
- [5] GARRIDO D, MARTÍN M V, RODRÍGUEZ C, et al. Meta-analysis approach to the effects of live prey on the growth of *Octopus vulgaris* paralarvae under culture conditions [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2018, 10(1): 3-14.
- [6] IGLESIAS J, SÁNCHEZ F J, BERSANO J G F, et al. Rearing of *Octopus vulgaris* paralarvae: Present status, bottlenecks and trends [J]. *Aquaculture*, 2007, 266(1): 1-15.
- [7] 蔡厚才, 庄定根, 叶鹏, 等. 浙江南麂岛真蛸网箱和水泥池养殖试验[J]. *南方水产*, 2007, 3(2): 66-70.
CAI H C, ZHUANG D G, YE P, et al. Net cage and cement tank culture of common Atlantic octopus *Octopus sinensis* in Nanji Island, Zhejiang Province [J]. *South China Fisheries Science*, 2007, 3(2): 66-70.
- [8] 徐大风, 刘永胜, 常青, 等. 真蛸早期发育形态特征及生长规律研究[J]. *渔业科学进展*, 2019, 40(5): 145-154.
XU D F, LIU Y S, CHANG Q, et al. Morphology, growth and development in the early life of *Octopus vulgaris* [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(5): 145-154.
- [9] 郑小东, 刘兆胜, 赵娜, 等. 真蛸(*Octopus vulgaris*)胚胎发育及浮游期幼体生长研究[J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(2): 317-323.
ZHENG X D, LIU Z S, ZHAO N, et al. Embryonic development and paralarval growth of *Octopus vulgaris* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(2): 317-323.
- [10] DAN S, IWASAKI H, TAKASUGI A, et al. An upwelling system for culturing common octopus paralarvae and its combined effect with supplying natural zooplankton on paralarval survival and growth [J]. *Aquaculture*, 2018, 495(1): 98-105.
- [11] 刘兆胜, 刘永胜, 郑小东, 等. 不同饵料对真蛸亲体产卵量、受精卵孵化率及初孵幼体大小的影响[J]. *海洋科学*, 2011, 35(10): 81-85.
LIU Z S, LIU Y S, ZHENG X D, et al. Effects of the different diets on *Octopus vulgaris* in spawning numbers, hatching rate and the size of newly hatching larvae [J]. *Marine Sciences*, 2011, 35(10): 81-85.
- [12] 程大川, 郭华阳, 马振华, 等. 3月龄卵形蛸形态性状对体质量的影响分析[J]. *海洋渔业*, 2016, 38(1): 26-34.
CHENG D C, GUO H Y, MA Z H, et al. Mathematical analysis of morphometric attribute effects on body weight for

- three-month-old *Trachinotus ovatus* [J]. Marine Fisheries, 2016, 38(1): 26-34.
- [13] 吴新燕, 梁宏伟, 罗相忠, 等. 不同月龄长丰鲢形态性状对体质量的影响[J]. 南方水产科学, 2021, 17(3): 62-69.
- WU X Y, LIANG H W, LUO X Z, *et al.* Effects of morphological traits on body mass of Changfeng silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) at different ages [J]. South China Fisheries Science, 2021, 17(3): 62-69.
- [14] 冯建彬, 马克异, 李家乐. 日本沼虾养殖群体主要形态性状对体质量的通径分析[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(2): 219-226.
- FENG J B, MA K Y, LI J L. Path analysis of the effects of morphological attributes on body mass in *Macrobrachium nipponense* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(2): 219-226.
- [15] 刘红, 郝敏, 孔丹丹, 等. 不同种群凡纳滨对虾形态性状对体质量的影响[J]. 水产科学, 2016, 35(5): 466-472.
- LIU H, HAO M, KONG D D, *et al.* Effects of morphological traits on body weight in different groups of pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. Fishery Sciences, 2016, 35(5): 466-472.
- [16] 徐海龙, 刘杨, 谷德贤, 等. 渤海湾4种蟹类形态性状关系及对体质量的影响[J]. 水产科学, 2014, 33(3): 142-146.
- XU H L, LIU Y, GU X D, *et al.* The relationship between morphometric traits and body weight in 4 species crab from Bohai bay [J]. Fisheries Science, 2014, 33(3): 142-146.
- [17] 王冲, 孙同秋, 王玉清, 等. 不同群体毛蚶形态性状对重量性状的影响效果分析[J]. 海洋渔业, 2015, 37(5): 427-433.
- WANG C, SUN T Q, WANG Y Q, *et al.* Effects of shell morphological traits on the weight traits of *Scapharca subcrenata* Lischke in different populations [J]. Marine Fisheries, 2015, 37(5): 427-433.
- [18] 平洪领, 王天明, 吕振明, 等. 曼氏无针乌贼 (*Sepiella japonica*) 体型性状对体质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(3): 218-220.
- PING H L, WANG T M, LV Z M, *et al.* Effects of morphological traits on body weight of *Sepiella japonica* [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43(3): 218-220.
- [19] 蒋湘, 许乐乐, 杨长庚, 等. 日本乌贼 (*Sepiella japonica*) 形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 水产养殖, 2021, 42(2): 1-6.
- JIANG X, XU L L, YANG C G, *et al.* Correlation and path coefficient analysis on body weight and morphometric traits of *Sepiella japonica* [J]. Aquaculture, 2021, 42(2): 1-6.
- [20] 杜家菊, 陈志伟. 使用SPSS线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.
- DU J J, CHEN Z W. Method for realizing path analysis using SPSS liner regression [J]. Bulletin of Biology, 2010, 45(2): 4-6.
- [21] 黄伟卿, 余祚渊. 不同生长时期黄姑鱼形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 水产科学, 2016, 35(5): 557-561.
- HUANG W Q, YU Z J. Correlation analysis of morphometric traits on body weight of spotted maigre *Nibea albiflora* at different growth stages [J]. Fisheries Science, 2016, 35(5): 557-561.
- [22] 李莉, 王雪, 菅玉霞, 等. 不同月龄大泷六线鱼形态性状与体质量的相关性及通径分析[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(1): 58-66.
- LI L, WANG X, JIAN Y X, *et al.* Correlation and path analysis between morphological traits and body mass of *Hexagrammos otakii* at different months of age [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(1): 58-66.
- [23] 边力, 刘长琳, 陈四清, 等. 不同生长期圆斑星鲈形态性状对体重影响的通径分析[J]. 中国水产科学, 2017, 24(6): 1168-1175.
- BIAN L, LIU C L, CHEN S Q, *et al.* Path analysis of effects of morphometric traits on body weight in spotted halibut *Verasper variegatus* at different growth stages [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(6): 1168-1175.
- [24] 杜美荣, 方建光, 包振民, 等. 不同养殖海域褶孔扇贝 (*Chlamys farreri*) 混合家系的通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(5): 963-970.
- DU M R, FANG J G, BAO Z M, *et al.* Correlation and path coefficient analysis for *Chlamys farreri* cultured in different sea areas [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica. 2016, 47(5): 963-970.
- [25] 李鸿鹏, 富裕, 任凤艺, 等. 舟山近海日本囊对虾野生群体与越冬养成群体形态性状对体重和肉重影响的比较[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(5): 1218-1227.
- LI H P, FU Y, REN S Y, *et al.* Comparison in the effect of morphological traits on body weight and meat weight of *Marsipenaes japonicus* from wild and overwintered cultivated groups in Zhoushan offshore regions [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(5): 1218-1227.
- [26] 谷伟, 户国, 徐革锋, 等. 不同性别虹鳟形态性状对体重的影响效果分析[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(3): 108-113.
- GU W, HU G, XU G F, *et al.* Mathematical analysis of morphometric attribute effects on body weight for both genders of two-year-old rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2013, 44(3): 108-113.
- [27] 张新明, 程顺峰. 不同性别口虾蛄形态性状对体重的影响分析及曲线拟合研究[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 82-91.
- ZHANG X M, CHENG S F. Effect and curve fitting of morphological traits to body weight between male and female mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*) [J]. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(6): 82-91.

- [28] 毕宜慧, 张鑫宇, 李杰, 等. 暗纹东方鲀雌雄个体形态差异及其判别分析[J]. 海洋渔业, 2021, 43(5): 563 - 572.
BI Y H, ZHANG X Y, LI J, *et al.* Analysis of morphological index and discrimination of male and female *Takifugu fasciatus* [J]. Marine Fisheries, 2021, 43(5): 563 - 572.
- [29] 王立萍, 叶展, 张亚群, 等. 半滑舌鳎早期不同性别的形态差异及判别分析[J]. 海洋渔业, 2021, 43(1): 42 - 50.
WANG L P, YE Z, ZHANG Y Q, *et al.* Morphological differences and discriminant analysis of different sex in early stage of *Cynoglossus semilaevis* [J]. Marine Fisheries, 2021, 43(1): 42 - 50.

Effects and curve fitting of morphometric traits on body weight at different larval growth stages in *Octopus sinensis*

SUN Yikang^{1,2}, LI Meishuai^{1,2}, CHEN Siqing², ZHANG Yan²,
CHANG Qing², LI Fenghui², GE Jianlong², BIAN Li²

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao Shandong 266071, China)

Abstract: As a statistical method to study causality, path analysis has been widely used in the breeding of fish, shrimp, crab, shellfish and other aquatic animals. In order to explore the correlation between body weight and morphological traits of *Octopus sinensis* at different ages, this experiment took 60, 100, 140 days old *O. sinensis* as the research object, and measured their weight (W), total length (TL), arm length (AL), mantle length (ML), mantle width (MW), eyes distance (ED) and other morphological traits. The correlation analysis and path analysis were carried out. The path coefficient and the coefficient of determination between morphological traits and body weight was calculated. In order to establish the optimal regression equation of morphological traits to body weight, the correlation degree of various morphological traits to body weight were determined. In the study of morphological statistics, coefficients of variation of weight at 60, 100, 140 days old were the largest among all traits, which were 11.06%, 7.59%, 8.53%, respectively. The largest coefficient of variation among the morphological characters of *O. sinensis* at 60 days and 100 days was TL, and the largest coefficient of variation among morphological characters at 140 days was AL. Similar results were also found in other aquatic animal studies. The main characteristics affecting the body weight of *Hexagrammos otakii* at 6 months of age were head length, full length, body height and body width, while those affecting the body weight of *Hexagrammos otakii* at 12 months of age were full length, body height, body width and tail stalk height. The main traits affecting body mass of 11-month-old *Verasper variegatus* were full length and body height, full length, head length and body height at 14 months, and full length and body height at 17 months. This indicated that the main morphological traits affecting body weight might change at different growth stages, so attention should be paid to adjust the judgment criteria according to different growth stages in the actual seedling raising process. The correlation coefficients results showed that the correlation coefficients of morphological traits of *O. sinensis* with different ages reached a very significant level ($P < 0.01$), and the main morphological indicators affecting the weight of *O. sinensis* were different at different ages. The 60-day-old was ML, MW, and ED. Among them, ML had the most significant direct effect, and ED had the least direct effect. The 100-day-old were AL, ML, and MW, of which ML had the most significant direct effect, and AL had the least direct effect. 140 days of age were TL and MW, of which TL had the most significant direct effect, and MW had the least direct effect. The total determination coefficients of morphological traits of *O. sinensis* at 60 days, 100 days and 140 days on body weight were

0.853, 0.972 and 0.941. The synergistic effect of ML and MW at 60 and 100 days was the largest in determining the weight by joint effect, which were 0.322 and 0.317, respectively. The synergistic effect of TL and MW at 140 days was the largest, which was 0.445. In related studies, it was found that shell width was the decisive trait affecting the body weight of *Chlamys farreri* in Dalian sea, shell height in Qingdao sea, and shell length in Rongcheng sea. The dominant traits affecting body weight and meat weight of *Marsupenaeus japonicus* were full-length, while the dominant traits affecting body weight and meat weight of *Marsupenaeus japonicus* were full-length and head and thorax length, respectively. The morphological characteristics of male and female *Takifugu fasciatus* aged 2-3 months were different. Compared with female *Takifugu fasciatus*, male individuals had a narrower caudal stalk ratio and shorter body size. In *Cynoglossus semilaevis*, there were differences in morphological traits between different genders in the early development of the tongue sole. Therefore, for the same species, in addition to different growth stages, morphological traits of different populations under different growth environments would also have different effects on body weight. In the same population, the morphological characters of male and female individuals would also be quite different. Therefore, whether there were differences in the relationship between morphological traits and body weight in different populations and different sexes of *Octopus sinensis* needed further study. In the optimal regression equation analysis, the multiple regression equations of morphological traits at 60 days, 100 days and 140 days on body weight (Y) were: $Y = -0.039 + 0.006X_{ML} + 0.009X_{MW} + 0.003X_{ED}$, $Y = -0.796 + 0.013X_{AL} + 0.051X_{ML} + 0.048X_{MW}$, $Y = -2.878 + 0.044X_{TL} + 0.120X_{MW}$. In linear regression analysis, the correlation coefficient indicated the reliability of the prediction using the regression equation. Only when the coefficient of determination alone and the sum of the coefficient of determination of the two characters were greater than or equal to 0.85, it indicated that the main independent variables affecting the dependent variable were determined. In this study, the sum of the coefficient of determination of the morphological characters on body weight of *Octopus sinensis* at 60, 100, 140 days of age were 0.957, 0.972 and 0.941, respectively, which were all greater than 0.85, indicating that the key morphological characters affecting body weight had been found, while other morphological characters had little effect on body weight. The sum of determination coefficients of morphological traits for three different ages of *O. sinensis* on body weight were greater than 0.85, indicating that the morphological traits obtained in this study were the key traits affecting the body weight of *O. sinensis*, which could provide theoretical basis and measurement indicators for the selection and breeding of *O. sinensis*.

Keywords: *Octopus sinensis*; morphological traits; correlation analysis; path analysis; multiple regression equation