

金乌贼(*Sepia esculenta*)早期发育阶段 内壳形态学指标的主成分分析*

李 达^{1,2} 刘长琳² 李 昂² 杜腾飞^{1,2}
柳淑芳^{2,3①} 庄志猛^{2,4}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 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; 4. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋生物学与生物技术功能实验室 青岛 266071)

摘要 为揭示金乌贼(*Sepia esculenta*)早期发育阶段内壳生长发育规律和形态学特征,本研究采集其红珠与黑珠期、心跳期、出膜期、初孵化幼体、5日龄、10日龄6个时期的金乌贼,分别测量其胴腹长(DML)、胴宽(MB)、体重(BW)、壳长(CL)、壳宽(CB)、壳重(CW)、生长纹数(LN)7项指标,进行内壳形态学的主成分分析。结果显示,红珠与黑珠期、出膜期和10日龄时期各生长指标间均呈显著性正相关,心跳期、初孵化幼体期和5日龄时期部分生长指标间相关性不显著。主成分分析显示,红珠与黑珠期、心跳期的第1主成分为质量因子(体重和壳重),出膜期、初孵化幼体、5日龄、10日龄等4个时期的第1主成分为长度因子(胴腹长和壳长),这表明金乌贼不同时期内壳形态学各性状的生长速率存在一定差异,出膜前(红珠与黑珠期和心跳期)质量因子的增长优于长度因子的增长,而出膜后(出膜期至10日龄时期)长度因子的增长优于质量因子的增长。

关键词 金乌贼; 生长性状; 内壳; 主成分分析

中图分类号 S954.4 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2017)05-00041-09

金乌贼(*Sepia esculenta*)属于头足纲(Cephalopoda)、乌贼目(Sepioidea)、乌贼科(Sepiidae)(陈新军等, 2009),广泛分布于中国沿海、日本列岛以及菲律宾群岛海域(董正之, 1991)。金乌贼具有生命周期短、生长速度快、营养价值高等特点,为我国北方沿海经济价值较大的头足类,曾是我国重要的海洋渔业捕捞对象之一(董正之, 1991)。但自20世纪80年代以来,由于过度捕捞和海洋环境的破坏等多种原因,其资源量明显衰退,产量急剧下降,目前,金乌贼在许多海域已经绝迹(郝振林等, 2007; 唐启升等, 1990)。因此,

进一步探索金乌贼生物学特征,对更好地保护金乌贼野生资源和提高增殖效果尤为重要。金乌贼的内壳又称海螵蛸,既是身体唯一的支撑结构,也是乌贼垂直运动时所依赖的浮力结构(Bandel *et al.*, 1979)。海螵蛸因其具有较高的药用价值,得到了广泛研究,但报道多集中于药学方面(刘永刚等, 2005; 张健英等, 1993; 赵中杰等, 1990),而头足类内壳发生和生长发育过程及其机理探讨方面的研究几乎空白。

为了更好地了解海螵蛸的形态与功能,推测海螵蛸的形成过程以及形成机理,本研究以早期不同发育

*“十二五”农村领域国家科技计划课题(2012BAD18B03)、农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室开放课题(2014K01)和基本科研业务费专项(20603022015009)共同资助 [This work was supported by the National Scientific and Technological Projects in Rural Areas in 12th Five-Year (2012BAD18B03), Key Laboratory of Exploitation and Utilization of Ocean Resources in the East China Sea, MOA (2014K01) and Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund (20603022015009)]. 李 达, E-mail: meiniandali@126.com

① 通讯作者: 柳淑芳, 研究员, E-mail: liusf@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2016-05-03, 收修改稿日期: 2016-07-04

阶段的金乌贼为研究对象,采集相关生长性状指标数据,并采用主成分分析法,以揭示金乌贼早期发育阶段内壳生长发育规律和形态学特征,为金乌贼幼苗的选育及养殖提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

将受精卵在面积为 25 m²、池深为 1 m 的培育池中孵化。池中均匀设置 12 个气石,保证孵化过程中进行不间断地微量充气,使水中溶氧量≥6 mg/L。光照维持在 400–600 lx。孵化用经过二级砂滤的自然海水,培育水温为 20–25℃,盐度为 29–30, pH 7.8–8.0,并定期更换海水。出膜后幼体的培育条件与孵化条件

相同。每天 09:00 和 18:00 投饵 2 次,投喂的饵料和金乌贼幼体的数量比例为 20:1–30:1。0–5 日龄幼体投喂卤虫无节幼体和活体糠虾,5–10 日龄投喂活体糠虾。实验期间,从培育池中分 6 个时期随机取样,分别获得样品红珠与黑珠期 30 尾、心跳期 29 尾、出膜期 30 尾、初孵化幼体 26 尾、5 日龄 30 尾、10 日龄 30 尾,共 175 尾。

1.2 生物学指标测定

用游标卡尺测定金乌贼的胴腹长(DML)、胴宽(MB)后,用精密电子天平(Sartorius)测定体重(BW),将其解剖,取出内壳,测定骨板壳长(CL)、壳宽(CB),在解剖镜下测定生长纹数(LN),最后称其壳重(CW)(表 1、图 1)。

表 1 金乌贼早期发育阶段部分测量参数

Tab.1 Morphometric measurements of *S. esculenta* at the early developmental stages

参数 Parameters	测量范围 Measuring range
壳长 Cuttlebone length(CL)	内壳中线最前端至最后端的长度 Length from the front end to the end of cuttlebone
壳宽 Cuttlebone breadth(CB)	内壳的最大宽度 Maximum width of cuttlebone
生长纹数 Lamella number(LN)	生长纹的数目 Number of growth layers
胴腹长 Dorsol mantle length(DML)	自胴部腹面中线最前端至最后端,骨针不包括在内 Length from the bottom of the ventral midline to the front of the final end, spicule is not included
胴宽 Mantle breadth(MB)	胴部腹面的最大宽度 Maximum width of the dorsol mantle



图 1 金乌贼壳测量参数

Fig.1 Scheme of morphometric measurements of the cuttlebone

1.3 数据处理及分析方法

1.3.1 统计软件 用 SPSS 19.0、Sigma plot 12.5、Excel 等软件进行数据处理。

1.3.2 分析方法 由于原始数据单位度量不同,不能在同一水平上进行比较,因此,在分析之前,通常需要通过 z-score(标准差)标准化处理数据来消除量纲和数量级的影响。标准化函数为:

$$x^* = (x - \mu) / \sigma$$

式中, x^* 为标准化后的数据, x 为原始数据, μ 为样本数据的均值, σ 为样本数据的标准差。

标准化后共得到 6 组标准化指标,用 SPSS 19.0

对标准化指标进行主成分分析,具体操作步骤和所得结果的分析方法参照王国梁等(2005)。为了有效保留原始数据所含的信息量,提取主成分时,通常使累计贡献率大于 85%,这样保证结果基本涵盖金乌贼早期发育阶段原始形态生长性状的全部遗传信息。

2 结果

2.1 金乌贼早期各生长性状的测量结果

本研究共测量金乌贼早期发育阶段红珠与黑珠期、心跳期、出膜期、初孵化幼体、5 日龄、10 日龄等 6 个时期的壳长(CL)、壳宽(CB)、壳重(CW)、生长纹数(LN)、胴腹长(DML)、胴宽(MB)、体重(BW)等 7 个生长性状的数据,详见表 2。从表 2 可以看出,红珠与黑珠期、心跳期、出膜期、初孵化幼体期各性状的变化范围较大,5 日龄期、10 日龄期的变化范围较小。在本培育条件下,从红珠与黑珠期到初孵化幼体耗时 16 d,据此可以推断,出膜前的 1 个生长纹形成需要 2.43 d,而出膜后的生长纹数日增长为 4.95 d,生长纹数的增长速率呈现先快后慢的特点。

2.2 金乌贼内壳不同生长时期各生长性状间的相关性

根据所测形态特征数据,利用相关系数法获得的

表 2 金乌贼早期发育阶段各生物学性状的描述性统计
Tab.2 Descriptive statistics of biological traits of *S. esculenta* at early developmental stages

发育阶段 Developmental stages	生物学性状 Biological traits													
	壳长 Cuttlebone length (cm)		壳宽 Cuttlebone breadth (cm)		壳重 Cuttlebone weight (mg)		生长纹数 Lamella number		胴腹长 Dorsol mantle length (cm)		胴宽 Mantle breadth (cm)		体重 Body weight (mg)	
	范围 Range	平均值 Average	范围 Range	平均值 Average	范围 Range	平均值 Average	范围 Range	平均值 Average	范围 Range	平均值 Average	范围 Range	平均值 Average	范围 Range	平均值 Average
红珠与黑珠期 Red-bead and black-beads stage	1.65-3.92	2.55	1.33-3.19	1.97	0.1-0.6	0.31	1-4	1.93	1.5-3.58	2.44	2.27-4.39	3.24	8.0-37.2	16.0
心跳期 Heart beating stage	2.08-4.42	3.5	1.68-3.22	2.62	0.3-1.3	0.77	2-5	3.41	2.08-4.48	3.31	2.94-4.96	3.98	9.2-54.2	28.0
出膜期 Hatching stage	3.13-4.81	3.93	2.14-3.56	2.90	0.4-1.4	1.05	3-6	4.33	2.73-5.18	3.53	2.97-5.76	4.22	15.8-63.4	30.7
初孵化幼体 Newly-hatched larvae	4.04-5.54	4.89	2.95-3.69	3.34	0.8-2.9	1.45	6-8	6.58	3.69-6.03	4.48	4.47-6.11	5.50	38.4-82.6	57.0
5 日龄 5-day-old	5.03-6.17	5.75	3.38-4.10	3.80	1.5-3.8	2.69	7-11	8.56	5.14-6.46	5.70	5.46-6.97	6.22	63.8-101.8	78.7
10 日龄 10-day-old	4.42-6.45	5.76	3.24-4.43	3.85	1.0-3.9	2.82	7-11	8.60	4.36-6.60	5.86	5.28-7.42	6.31	53.7-116.2	84.4

相关系数矩阵如表 3。从表 3 可以看出,红珠与黑珠期、出膜期和 10 日龄期各生物性状间均呈极显著性正相关($P < 0.01$);心跳期,除胴腹长与部分性状、胴宽与壳重间相关性不显著($P > 0.05$)外,其他性状间呈显著性正相关($P < 0.05$);初孵化幼体期,除胴宽与部分性状相关性不显著外($P > 0.05$),其他性状间呈极显著性正相关($P < 0.01$);5 日龄时期,除胴腹长与部分性状、胴宽与部分性状间相关性不显著($P > 0.05$)外,其他性状间呈显著性正相关($P < 0.05$)

2.3 金乌贼内壳生长性状的主成分分析

本研究在金乌贼早期发育阶段的 6 个时期选取的主成分特征值及贡献率见表 4,成分矩阵见表 5。初孵化幼体期和 5 日龄时期分别提取 4 个主成分,其他时期提取 3 个主成分,6 个时期入选的主成分略有差别。

红珠与黑珠期第 1 主成分贡献率为 71.489%,贡献率较大的为体重、壳长和壳重特征向量,且体重与壳长、壳重间呈显著正相关,可将其称为质量因子;第 2 主成分贡献率为 9.547%,贡献率较大的为胴宽和壳宽特征向量,可以称为宽度因子,其中,壳宽特征向量为负值,说明这段时期胴宽越宽,则壳宽越窄;第 3 主成分贡献率为 7.946%,贡献率较大的为生长纹数生长向量,可以称为层数因子,且其特征值为负,说明此时期金乌贼幼体增长速度越快,骨板形成速度越慢。前 3 个主成分的累计贡献率为 88.983%。

心跳期,第 1 主成分贡献率为 58.886%,贡献率较大的为胴宽、体重、壳长、壳宽和生长纹数 5 个特征向量,可以称之为质量-层数因子,其中,生长纹数特征向量最大,说明这个时期金乌贼幼体内壳骨板快速形成,伴随着骨板的形成,壳长和壳宽也开始快速增长;第 2 主成分贡献率为 15.159%,贡献率较大的为胴腹长特征向量(长度因子);第 3 主成分贡献率为 12.183%,贡献率较大的为胴宽特征向量(宽度因子),且其特征值为负,这个时期胴宽的增长速度缓慢。前 3 个主成分的累计贡献率为 86.228%。

出膜期,第 1 主成分贡献率为 71.879%,贡献率较大的为胴宽、壳长、壳宽和生长纹数,可以称之为长度因子,与心跳期相比,第 1 主成分仍有壳长、壳宽和生长纹数,但其特征值所占比重已有所下降,说明出膜期内壳形成速度较心跳期有所减慢;第 2 主成分贡献率为 9.361%,贡献率较大的为胴腹长和体重特征向量,可以称之为长度因子,这个时期胴腹长仍在缓慢增长,而体重也在缓慢增长,但增长速度

较心跳期有所下降;第 3 主成分贡献率为 5.889%,贡献率较大为壳重特征向量,可以称之为质量因子。前 3 个主成分的累计贡献率为 87.129%。

初孵化幼体期,第 1 主成分贡献率为 61.927%,贡献率较大的为体重、壳长特征向量,可以称之为长度因子,孵化后的金乌贼幼体的胴腹长和壳长都快速增长,而且伴随着胴腹长和壳长的快速增长,体重和壳重也快速增长;第 2 主成分贡献率为 13.390%,贡献率较大的为胴宽和壳重特征向量,可以称之为宽度因子,说明这个时期胴宽仍处于明显的增长趋势;第 3 主成分贡献率为 8.988%,贡献率较大的为胴腹长和壳宽特征向量,可以称之为宽度因子,这个时期壳宽还在增长,但增长速度减慢;第 4 主成分贡献率为 5.830%,贡献率较大的为生长纹数特征向量,可以称之为层数因子。前 4 个主成分的累计贡献率为 90.145%。

5 日龄时期,第 1 主成分贡献率为 53.716%,贡献率较大的为体重、壳长和壳宽特征向量,可以称之为长度因子,这个时期体重和壳长仍然快速增长;第 2 主成分贡献率为 14.026%,贡献率较大的为胴腹长特征向量,可以称之为长度因子,这个时期胴腹长仍处于明显的增长趋势,但较初孵化幼体时期已有所减慢;第 3 主成分贡献率为 11.465%,贡献率较大的为胴宽和纹数特征向量,可以称之为宽度因子,其中,胴宽特征向量值为负,而生长纹数特征向量为正,说明生长纹数越大,胴宽越小;第 4 主成分贡献率为 8.932%,贡献率较大的为壳宽和壳重特征向量,可以称之为宽度因子。前 4 个主成分的累计贡献率为 88.140%。

10 日龄时期,第 1 主成分贡献率为 69.668%,贡献率较大的为胴腹长和壳长特征向量,可以称之为长度因子,其中,体重和胴宽的特征值也较大,说明随着胴腹长和胴宽的增长,体重也快速增长;第 2 主成分贡献率为 10.638%,贡献率较大的为纹数特征向量,可以称之为层数因子;第 3 主成分贡献率为 7.506%,贡献率较大的为胴宽、壳宽和壳重特征向量,可以称之为宽度因子,其中,胴宽的特征值为负,而壳宽的特征值为正,说明胴宽越大的金乌贼幼体,其个体壳宽越小。前 3 个主成分的累计贡献率为 87.811%。

3 讨论

人工养殖是补充金乌贼资源的有效方法,但金乌贼幼体生长生物学知识的缺乏使得目前人工培育幼体的成活率较低,而研究金乌贼内壳的形态学发育对

表 3 金乌贼早期发育阶段不同时期内壳与各生长性状的相关系数

Tab.3 The phenotype correlation coefficient among the traits of *S. esculenta* at early different developmental stages

时期 Stages	项目 Items	胴腹长 Dorsol mantle length	胴宽 Mantle breadth	体重 Body weight	壳长 Cuttlebone length	壳宽 Cuttlebone breadth	壳重 Cuttlebone weight	纹数 Lamella number
红珠与黑珠期 Red-bead and black-beads stage	胴腹长 Dorsol mantle length	1						
	胴宽 Mantle breadth	0.486**	1					
	体重 Body weight	0.738**	0.706**	1				
	壳长 Cuttlebone length	0.725**	0.465**	0.786**	1			
	壳宽 Cuttlebone breadth	0.586**	0.454*	0.750**	0.816**	1		
	壳重 Cuttlebone weight	0.658**	0.591**	0.808**	0.817**	0.739**	1	
	纹数 Lamella number	0.659**	0.530**	0.769**	0.748**	0.484**	0.574**	1
心跳期 Heart-beating stage	胴腹长 Dorsol mantle length	1						
	胴宽 Mantle breadth	0.112	1					
	体重 Body weight	0.574**	0.657**	1				
	壳长 Cuttlebone length	0.255	0.490**	0.553**	1			
	壳宽 Cuttlebone breadth	0.143	0.558**	0.558**	0.856**	1		
	壳重 Cuttlebone weight	0.339	0.252	0.438*	0.609**	0.550**	1	
	纹数 Lamella number	0.469*	0.577**	0.690**	0.771**	0.698**	0.408*	1
出膜期 Hatching stage	胴腹长 Dorsol mantle length	1						
	胴宽 Mantle breadth	0.692**	1					
	体重 Body weight	0.694**	0.702**	1				
	壳长 Cuttlebone length	0.588**	0.766**	0.618**	1			
	壳宽 Cuttlebone breadth	0.608**	0.757**	0.614**	0.826**	1		
	壳重 Cuttlebone weight	0.515**	0.676**	0.561**	0.696**	0.616**	1	
	纹数 Lamella number	0.559**	0.747**	0.568**	0.830**	0.739**	0.684**	1
初孵化幼体 Newly-hatched larvae	胴腹长 Dorsol mantle length	1						
	胴宽 Mantle breadth	0.462*	1					
	体重 Body weight	0.682**	0.271	1				
	壳长 Cuttlebone length	0.553**	0.336	0.658**	1			
	壳宽 Cuttlebone breadth	0.507**	0.453*	0.570**	0.791**	1		
	壳重 Cuttlebone weight	0.517**	0.152	0.640**	0.727**	0.641**	1	
	纹数 Lamella number	0.613**	0.356	0.622**	0.650**	0.547**	0.657**	1
5 日龄 5-day-old	胴腹长 Dorsol mantle length	1						
	胴宽 Mantle breadth	0.164	1					
	体重 Body weight	0.367*	0.633**	1				
	壳长 Cuttlebone length	0.312	0.555**	0.687**	1			
	壳宽 Cuttlebone breadth	0.305	0.602**	0.465**	0.753**	1		
	壳重 Cuttlebone weight	0.053	0.341	0.441*	0.578**	0.605**	1	
	纹数 Lamella number	0.192	0.235	0.494**	0.566**	0.435*	0.412*	1
10 日龄 10-day-old	胴腹长 Dorsol mantle length	1						
	胴宽 Mantle breadth	0.779**	1					
	体重 Body weight	0.754**	0.660**	1				
	壳长 Cuttlebone length	0.791**	0.734**	0.736**	1			
	壳宽 Cuttlebone breadth	0.662**	0.505**	0.694**	0.687**	1		
	壳重 Cuttlebone weight	0.702**	0.611**	0.634**	0.685**	0.755**	1	
	纹数 Lamella number	0.675**	0.574**	0.375*	0.496**	0.406*	0.544**	1

*表示显著($P<0.05$), **表示极显著($P<0.01$)

* showed significant difference ($P<0.05$), ** showed extremely significant difference ($P<0.01$)

表 4 金乌贼早期发育阶段不同时期生长性状的特征值和累计贡献率

Tab.4 Eigenvector and cumulative contribution rate of *S. esculenta* at early different developmental stages

时期 Stages	成份 Components	初始特征值 Initial Eigenvalue		
		特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution	累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)
红珠与黑珠期 Red-bead and black-beads stage	1	5.004	71.489	71.489
	2	0.668	9.547	81.036
	3	0.556	7.946	88.983
心跳期 Heart-beating stage	1	4.122	58.886	58.886
	2	1.061	15.159	74.045
	3	0.853	12.183	86.228
出膜期 Hatching stage	1	5.032	71.879	71.879
	2	0.655	9.361	81.240
	3	0.412	5.889	87.129
初孵化幼体期 Newly-hatched larvae	1	4.335	61.927	61.927
	2	0.937	13.390	75.317
	3	0.630	8.998	84.315
	4	0.408	5.830	90.145
5 日龄 5-day-old	1	3.760	53.716	53.716
	2	0.982	14.026	67.742
	3	0.803	11.465	79.207
	4	0.625	8.932	88.140
10 日龄 10-day-old	1	4.877	69.668	69.668
	2	0.745	10.638	80.305
	3	0.525	7.506	87.811

表 5 金乌贼早期发育阶段不同时期入选成分的特征向量

Tab.5 Principal eigenvector of *S. esculenta* at early different developmental stages

时期 Stages	成分 Components	特征向量 Principal eigenvector						
		胴腹长 Dorsol mantle length	胴宽 Mantle breadth	体重 Body weight	壳长 Cuttlebone length	壳宽 Cuttlebone breadth	壳重 Cuttlebone weight	纹数 Lamella number
红珠与黑珠期 Red-bead and black-beads stage	成分 1 Component 1	0.368	0.314	0.421	0.409	0.368	0.395	0.360
	成分 2 Component 2	-0.047	0.765	0.141	-0.343	-0.455	-0.138	0.222
	成分 3 Component 3	-0.393	0.405	0.038	-0.108	0.409	0.314	-0.634
心跳期 Heart-beating stage	成分 1 Component 1	0.243	0.344	0.410	0.432	0.418	0.326	0.433
	成分 2 Component 2	0.817	-0.249	0.272	-0.243	-0.366	0.043	0.045
	成分 3 Component 3	0.039	-0.597	-0.321	0.255	0.148	0.658	-0.136
出膜期 Hatching stage	成分 1 Component 1	0.347	0.403	0.355	0.413	0.390	0.356	0.387
	成分 2 Component 2	0.612	0.067	0.537	-0.304	-0.169	-0.284	-0.362
	成分 3 Component 3	-0.077	-0.041	0.180	-0.220	-0.460	0.828	-0.122
初孵化幼体期 Newly-hatched larvae	成分 1 Component 1	0.377	0.241	0.396	0.421	0.397	0.391	0.393
	成分 2 Component 2	0.215	0.858	-0.153	-0.150	0.050	-0.407	-0.061
	成分 3 Component 3	0.566	0.141	-0.380	0.356	-0.568	0.116	-0.231
	成分 4 Component 4	-0.251	0.124	-0.453	-0.090	-0.247	0.184	0.783
5 日龄 5-day-old	成分 1 Component 1	0.208	0.369	0.419	0.464	0.433	0.359	0.338
	成分 2 Component 2	0.858	-0.005	0.182	-0.034	-0.099	-0.460	-0.087
	成分 3 Component 3	0.168	-0.683	-0.116	0.055	-0.108	0.169	0.670
	成分 4 Component 4	0.340	-0.237	-0.480	0.031	0.462	0.429	-0.446
10 日龄 10-day-old	成分 1 Component 1	0.418	0.379	0.380	0.401	0.367	0.383	0.309
	成分 2 Component 2	0.156	0.240	-0.353	-0.121	-0.438	-0.121	0.756
	成分 3 Component 3	-0.142	-0.496	-0.321	-0.238	0.460	0.494	0.345

表 6 金乌贼早期发育阶段不同时期的主成分

Tab.6 Principal components of traits of *S. esculenta* at early different developmental stages

时期 Stages	第 1 主成分 First principal component	第 2 主成分 Second principal component	第 3 主成分 Third principal component	第 4 主成分 Fourth principal component
红珠与黑珠期 Red-bead and black-beads stage	质量因子 Quality factor	宽度因子 Width factor	层数因子 Layer factor	-
心跳期 Heart-beating stage	质量-层数因子 Quality-layer factor	长度因子 Length factor	宽度因子 Width factor	-
出膜期 Hatching stage	长度因子 Length factor	长度因子 Length factor	质量因子 Quality factor	-
初孵化幼体 Newly-hatched larvae	长度因子 Length factor	宽度因子 Width factor	宽度因子 Width factor	层数因子 Layer factor
5 日龄 5-day-old	长度因子 Length factor	长度因子 Length factor	宽度因子 Width factor	宽度因子 Width factor
10 日龄 10-day-old	长度因子 Length factor	层数因子 Layer factor	宽度因子 Width factor	-

提高幼体成活率具有重要参考价值。本研究发现,在金乌贼发育早期的 6 个不同时期,内壳形态学各性状的生长速率存在一定差异,出膜前(红珠与黑珠期和心跳期)质量因子的增长优于长度因子的增长,而出膜后(出膜期至 10 日龄时期)长度因子的增长优于质量因子的增长,但其中代表内壳发育的壳长都是最重要的参数。对于其他指标,本研究采用了主成分分析法,该方法是将原来众多具有一定相关性的指标,重新组合成一组新的互相无关的综合指标来代替原来指标的一种多元分析方法(余锦华等, 2005)。它可以反映多个实测指标的主要信息,在进行分析与评价指标变量时,能够切断相关的干扰,找出主导因素,从而做出更为准确的估计与评价(蔺宏凯等, 2010)。目前,在水产动物中,主成分分析法主要用于研究群体系统分类(刘晓慧等, 2015; 孙诗萌等, 2015; 郑汉丰等, 2005),而对头足类生长性状的主成分分析鲜见报道,国内仅见凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) (何铜等, 2009)、三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*) (王燕飞等, 2014)、翘嘴鲌(*Siniperca chuatsi*) (窦亚琪等, 2014)、高体革鲂(*Scortum barcoo*) (于飞等, 2009)等的相关研究。本研究是首次尝试用主成分分析法分析金乌贼的内壳形态学特征。

按照主成分分析中关于累计贡献率和特征向量的生物学含义,累计贡献率为各复合性状相对于所有复合性状对于遗传方差的贡献的百分率;特征向量表示对复合性状贡献的大小,其绝对值反映了各性状对该主成分作用的大小和性质(耿社民等, 1997)。体尺性状与体重性状均属于数量性状,是环境和遗传因素共同作用的结果,是动物遗传选育重要的表型性状与体型外貌的量化指标(蔺宏凯等, 2010)。本研究由不同时期生长性状

的相关分析可知,红珠与黑珠期、出膜期和 10 日龄期各生物性状间均呈显著性正相关,心跳期、初孵化幼体期和 5 日龄时期部分性状间相关性不显著。相关分析虽然可以了解各生长阶段不同性状参数的相互关系,但无法消除性状间彼此相关而造成的信息重叠,为此,进行主成分分析,将复杂的数据综合成几个简单的综合性状(侯建君等, 2006)。本研究不同时期主成分分析结果见表 6,从表 6 可以看出,金乌贼早期发育阶段不同时期主成分有所不同,同一主成分在不同时期所占的比重也不同。第 1 主成分在前 2 个时期为质量因子,后 4 个时期为长度因子;第 2 主成分主要为长度因子和宽度因子;第 3 主成分大部分为宽度因子;第 4 主成分只有 2 个时期存在,分别为层数因子和宽度因子。同时主成分分析结果表明,大部分时期只要抓住前 3 个主成分,就能抓住 7 个生长指标 85% 以上的信息,红珠与黑珠期和心跳期质量的生长优于形态特征的增长,而从出膜期至 10 日龄时期形态特征的增长优于质量的生长。分析原因可能是,幼体出膜后为了躲避天敌和主动摄食,将能量主要用于运动器官和摄食器官的形成,这种现象被称为异速生长,并且在其他物种中已经得到证实(单秀娟等, 2009; 马境等, 2007)。在所有时期中,第 1 主成分所占的贡献率均在总的贡献率的 50% 以上,说明它是金乌贼早期个体形态性状变异的主要来源,由于生物体各性状间存在遗传相关,一个性状的改变会导致另一个性状的选择反应,因此,在选育工作中可根据第 1 主成分为主进行选择,也就是在出膜前(红珠与黑珠期、心跳期)以体重为重要的形态性状选择指标,出膜后(出膜期、初孵化幼体期、5 日龄期和 10 日龄期)则以内壳壳长和胴腹长为重要的选择指标,依此可提高金乌贼的选育效率。

参 考 文 献

- Bandel K, Boletzky S. A comparative study of the structure, development and morphological relationships of chambered cephalopod shells. *Veliger*, 1979, 21(3): 313–354
- Chen XJ, Liu BL, Wang YG. The world of cephalopods. Beijing: China Ocean Press, 2009 [陈新军, 刘必林, 王尧耕. 世界头足类. 北京: 海洋出版社, 2009]
- Dong ZZ. The world ocean economy cephalopod biology. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1991 [董正之. 世界大洋经济头足类生物学. 济南: 山东科技出版社, 1991]
- Dou YQ, Liang XF, Yi TL, *et al.* Principal component and discriminant analyses of traits of *Siniperca chuatsi* at different ages. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(6): 1116–1124 [窦亚琪, 梁旭方, 易提林, 等. 翘嘴鲌不同月龄性状的主成分与判别分析. *中国水产科学*, 2014, 21(6): 1116–1124]
- Geng SM, Chang H, Qin GQ, *et al.* Principal component analysis and classification of body characteristics in the part cattle population of Asia. *Journal of Yellow Cattle Science*, 1997(4): 17–20 [耿社民, 常洪, 秦国庆, 等. 亚洲 49 个牛群体体尺性状的多元统计分析. *黄牛杂志*, 1997(4): 17–20]
- Hao ZL, Zhang XM, Zhang PD. Biological characteristics and multiplication techniques of *Sepia esculenta*. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(4): 601–606 [郝振林, 张秀梅, 张沛东. 金乌贼的生物学特性及增殖技术. *生态学杂志*, 2007, 26(4): 601–606]
- He T, Lin XL, Yang CM, *et al.* Principal component and discriminant analyses of traits of *Litopenaeus vannamei* at different ages. *Acta Ecologica Sinica*, 2009(4): 2134–2142 [何铜, 刘小林, 杨长明, 等. 凡纳滨对虾各月龄性状的主成分与判别分析. *生态学报*, 2009(4): 2134–2142]
- Hou JJ, Shi ZX, Li BM. Principal component analysis of Landrace's physical characteristics. *Journal of China Agricultural University*, 2006, 11(3): 56–60 [侯建君, 施正香, 李保明. 不同生长阶段长白猪体型特征的主成分分析. *中国农业大学学报*, 2006, 11(3): 56–60]
- Lin HK, Zhang Y, Zhou ZY. The principal component analysis of Xinjiang brown cattle body measurement trait. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2010, 37(8): 130–133 [蔺宏凯, 张杨, 周振勇. 新疆褐牛体尺性状指标与体重的主成分分析. *中国畜牧兽医*, 2010, 37(8): 130–133]
- Liu XH, Song N, Liu HY, *et al.* Preliminary analysis on morphological characteristics of 5 *Collichthys lucidus* geographical populations. *Transaction of Oceanology and Limnology*, 2015(2): 59–67 [刘晓慧, 宋娜, 刘鸿雁, 等. 棘头梅童鱼 5 个地理群体的形态学初步分析. *海洋湖沼通报*, 2015(2): 59–67]
- Liu YG, Zhao FH, He JL. Study of cuttlebone. *Lishizhen Medicine and Chinese Medicine*, 2005, 16(1): 72–73 [刘永刚, 赵富花, 何进来. 海螵蛸的研究概况. *时珍国医国药*, 2005, 16(1): 72–73]
- Ma J, Zhang LZ, Zhuang P, *et al.* Development and allometric growth patterns of larval *Acipenser schrenckii*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2875–2882 [马俊, 章龙珍, 庄平, 等. 施氏鲟仔鱼发育及异速生长模型. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2875–2882]
- Shan XJ, Dou SZ. Growth and development of juvenile (*Miichthys miiuy*), juvenile and its ecological significance. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(6): 714–719 [单秀娟, 窦硕增. 鲢鱼(*Miichthys miiuy*)仔、稚鱼发育生长方式及其生态学意义. *海洋与湖沼*, 2009, 40(6): 714–719]
- Sun SM, An BS, Cai MC, *et al.* Analysis of morphological variation of different populations of fat greenling *Hexagrammos otakii*. *Chinese Journal of Fisheries*, 2015(4): 6–11 [孙诗萌, 安百胜, 蔡明城, 等. 大泷六线鱼不同群体的形态差异分析. *水产学杂志*, 2015(4): 6–11]
- Tang QS, Ye HZ. Development and protection of fishery resources in Shandong offshore. Beijing: Agriculture Press, 1990: 212 [唐启升, 叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护. 北京: 农业出版社, 1990: 212]
- Wang GL, He XQ. Statistical analysis of multivariable economic data. Shaanxi Science and Technology Press, 1993 [王国梁, 何晓群. 多变量经济数据统计分析. 陕西科学技术出版社, 1993]
- Wang YF, Wang CL, Mu CK, *et al.* Principal component analysis of morphometric traits of *Portunus trituberculatus* at different month ages. *Ecologic Science*, 2014, 33(3): 527–532 [王燕飞, 王春琳, 母昌考, 等. 三疣梭子蟹不同月龄形态性状的主成分分析. *生态科学*, 2014, 33(3): 527–532]
- Yu F, Chen BY, Gao H, *et al.* Principal component analysis of growth traits of *Scortum barcoo* at different growth stages. *Journal of Huaihai Institute of Technology (Natural Sciences Edition)*, 2009, 18(4): 69–72 [于飞, 陈百尧, 高焕, 等. 高体革鲷不同生长阶段生长性状的主成分分析. *淮海工学院学报(自然科学版)*, 2009, 18(4): 69–72]
- Yu JH, Yang WQ. Multivariate statistical analysis and application. Guangzhou: Zhongshan University Press, 2005 [余锦华, 杨维权. 多元统计分析与应用. 广州: 中山大学出版社, 2005]
- Zhang JY, Li WB. Study of cuttlebone demineralization and remineralization and microstructure. *Medical Journal of Shenyang*, 1993(4): 286–290 [张健英, 李文波. 海螵蛸的脱矿、再矿化及显微构造的研究. *沈阳医药学报*, 1993(4): 286–290]
- Zhao ZJ, Jiang PF, Li A. Determination of calcium carbonate, trace elements and amino acids in cuttlebone. *Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine*, 1990, 15(1): 41–43 [赵中杰, 江佩芬, 李昂. 海螵蛸中碳酸钙、微量元素和氨基酸的测定. *中国中药杂志*, 1990, 15(1): 41–43]
- Zheng HF, Zhang GF, Li JL, *et al.* Morphology difference analysis of juvenile among *Hyriopsis cumingii*, *Hyriopsis schlegelii* and their hybrids. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2005, 14(3): 225–230 [郑汉丰, 张根芳, 李家乐, 等. 三角帆蚌、池蝶蚌及其杂交 F₁ 代早期形态差异分析. *上海水产大学学报*, 2005, 14(3): 225–230]

(编辑 冯小花)

Principal Component Analysis of the Morphometric Traits of the Cuttlebone of *Sepia esculenta* at Early Developmental Stages

LI Da^{1,2}, LIU Changlin², LI Ang², DU Tengfei^{1,2}, LIU Shufang^{2,3①}, ZHUANG Zhimeng^{2,4}

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

2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, 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; 4. Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071)

Abstract To characterize the traits of the cuttlebone of *Sepia esculenta* at the early developmental stages, we collected data at different stages including the red-bead and black-bead stage, the heart-beating stage, the hatching stage, the newly-hatched larvae stage, the 5-day-old stage and the 10-day-old stage. The principal component analysis was performed to evaluate seven growth traits including the dorsal mantle length, the mantle breadth, the body weight, the cuttlebone length, the cuttlebone breadth, the cuttlebone weight and the lamella number. The results showed that there were significant correlations between any two traits at the red-bead and black-bead stage, the hatching stage and the 10-day-old stage. However, some traits showed no correlation at the heart-beating stage, the newly-hatched larvae stage and the 5-day-old stage. The first principal component was the weight factor at the first two stages, and it became the length factor at other four stages. The second principal component was the length factor and width factor. The third principal component was mostly the width factor. At only two stages there was the fourth principal component that was the lamella factor and the width factor. The growth rate of these traits varied at different stages. From the red-bead and black-bead stage to the heart-beating stage, the morphometric traits outgrew the body weight, and this pattern was reversed from the hatching stage to the 10-day-old stage.

Key words *Sepia esculenta*; Growth traits; Cuttlebone; Principal component analysis

① Corresponding author: LIU Shufang, E-mail: liusf@ysfri.ac.cn