

# 舟山近海日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*) 野生群体与露天养殖越冬群体间的形质差异\*

富 裕<sup>1</sup> 李鸿鹏<sup>1</sup> 任凤芝<sup>1</sup> 王志铮<sup>1</sup> 林祖好<sup>2</sup>

(1. 浙江海洋大学 舟山 316022; 2. 岱山沙城养殖场 岱山 316200)

**摘要** 鉴于舟山沿海日本囊对虾秋苗养殖成活率显著低于春季和夏季人工养殖苗种之实际, 深入开展适合于本地沿海养殖的日本囊对虾秋苗的优质亲体的选种研究显得十分必要。为此, 作者采用聚类分析、主成分分析和判别分析等方法定量研究了舟山近海日本囊对虾野生群体和露天池塘越冬养成群体间的形质特征差异。结果表明: 两者在本研究所涉 18 项形质评价指标中的相似性指数仅为 11.11%, 欧氏距离为 4.243 ( $P < 0.01$ ); 经主成分分析, 提取到的 5 个特征值均大于 1 的主成分, 累计贡献率达 85.27%, 其中第 1 主成分为以营养生理状况指数、额剑上缘锯齿数以及腹部肌肉发达程度为主导的体质强壮因子, 第 2 主成分为以寻食视野与胸腔空间大小为主导的捕食运动功能因子, 后 3 个主成分为以尾节肌肉发达程度为主导的避敌运动功能因子; 采用逐步判别法, 以判别贡献率较大的 9 项形质评价指标为自变量, 所建 Fisher 分类函数方程组可清晰区分日本囊对虾野生群体和越冬养成群体, 其中野生群体的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 99.33% 和 96.13%, 越冬养成群体的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 96% 和 99.31%, 两者综合判别准确率为 97.67%。因此, 日本囊对虾秋苗野生亲本形质特征的选择, 应以秋苗越冬养成群体为参照。

**关键词** 日本囊对虾; 野生群体; 越冬养成群体; 形质特征; 多元统计分析

**中图分类号** Q78 **doi:** 10.11693/hyhz20150400106

日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)既是我国传统海水虾类养殖对象, 也是我国活虾出口创汇的重要养殖品种。舟山系我国重要的海水产品生产、加工、销售基地之一, 承担着沿海江苏、浙江、上海、福建, 和山东四省一市在东海区生产的水产品集散功能。受地理纬度限制, 分布于舟山近海的日本囊对虾具向深水区越冬洄游的习性(毛锡林等, 1994), 而养殖于舟山沿海露天养殖池塘内的日本囊对虾秋苗, 因在越冬养成过程中需经受持续低温和高 pH 值的双重胁迫(富裕等, 2014), 致使其养殖成活率显著低于春季和夏季养殖的人工苗种。因此, 针对目前舟山市场冬、春季日本囊对虾活体供应严重短缺, 且销售价格异常高昂之实际, 深入开展适合于舟山沿海养殖

的日本囊对虾秋苗的优质亲体选种工作, 无疑对促进舟山乃至东海区日本囊对虾养殖产业的健康发展具有重要意义。

近年来, 有关日本囊对虾种质地理学的研究已日益引起国内外学者的关注和重视。蔡晓鹏等(2010)定量比较了捕捞自我国福建厦门、海南陵水、广西北海、广东惠来和福建诏安 5 个地理群体间的形态差异; 李义军等(2010)对取自福建厦门、广东湛江和海南临高的野生群体以及养成于海南而种苗源自福建厦门的人工养成群体进行了形态差异与判别分析的研究; Tsio 等(2005, 2007)根据头胸甲侧面斜纹的延伸特征将日本囊对虾分型为主布于东亚海域的形态变异型(variety, 斜纹延伸至头部底缘)和主布于南海海

\* 舟山市海洋类科研攻关项目, 2013C41013 号; 宁波市海洋渔业局科技项目“2015 年宁波市本级增殖放流技术指导 and 效果评价”; 宁波市科技富民计划项目“日本囊对虾生态高效养殖关键技术集成与示范(2016—2018)”。富裕, E-mail: chris7877@163.com

通讯作者: 王志铮, 教授, E-mail: wzz\_1225@163.com

收稿日期: 2015-04-09, 收修改稿日期: 2015-05-15

域的形态变异型(variety, 斜纹仅延伸至头胸甲侧面中央), 就上述分型, 何永琴等(2012)采用微卫星标记法比较了两形态变异类型群体间的遗传多样性, 宋晓红等(2014)开展了两形态变异类型稚虾间的耐高温性能差异研究, 董宏标等(2014a, b)比较研究了在室内同池饲养条件下两形态变异类型人工养成群体间生长特征及主要外形参数的差异。但迄今国内外尚未见有关日本囊对虾夏季海捕野生群体与经冬季持续低温和高 pH 值双重胁迫存活下来的秋苗越冬养成群体间形质差异的研究报道。鉴于此, 本文作者拟采取聚类分析、主成分分析和判别分析方法, 定量比较舟山近海日本囊对虾海捕野生群体与露天越冬养成群体间的形质差异, 旨为舟山近海日本囊对虾秋苗优质野生亲体的筛选研究提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验样品

本研究所用野生日本囊对虾捕自舟山市岱山县长涂岛邻近海域, 系 2014 年 8 月 11 日虾拖网作业渔获的活虾; 所用露天池塘越冬养成日本囊对虾取自长涂镇沙城养殖场, 为 2013 年 9 月 27 日放苗养殖, 2014 年 4 月 29 日起捕的同池养成的活虾。于上述两类活虾中各随机选取无病无伤、附肢完整、反应灵敏的健壮个体 150 尾组成本研究所涉日本囊对虾野生测定群体(以下简称“野生群”)和日本囊对虾露天池塘越冬养成测定群体(以下简称“越冬群”)。

### 1.2 生物学指标的测定及形质评价指标的统计

用数显游标卡尺(精度 0.02 mm)和 RS-232 型精密电子天平(精度 0.01g)逐尾进行生物学指标测定后, 以野生群和越冬群实验样本间形态表型及以体长为基准的体型特征差异为基础, 分别统计归属于形态分类特征性状的  $X_1$ (额剑上缘锯齿数), 归属于形态尺寸比例指数的  $X_2$ (眼窝距/体长 $\times 100\%$ )、 $X_3$ (眼窝距/头胸甲长 $\times 100\%$ )、 $X_4$ (眼窝距/额剑长 $\times 100\%$ )、 $X_5$ (眼窝距/眼径 $\times 100\%$ )、 $X_6$ (尾节宽/体长 $\times 100\%$ )、 $X_7$ (尾节宽/胸宽 $\times 100\%$ )、 $X_8$ (尾节宽/第二腹节宽 $\times 100\%$ )、 $X_9$ (尾节高/尾节宽 $\times 100\%$ )、 $X_{10}$ (胸宽/体长 $\times 100\%$ ), 归属于体横截面比例指数的  $X_{11}$ (胸部横截面指数)、 $X_{12}$ (第二腹节横截面指数)、 $X_{13}$ (尾节横截面指数), 以及归属于营养生理状况指数的  $X_{14}$ (鲜出肉率)、 $X_{15}$ (肥满度 = 体重/体长 $\times 100$ )(Fulton, 1911)、 $X_{16}$ (肥满度指数 = 肉重/体长 $\times 100$ )、 $X_{17}$ (重长指数 = 体重/体长)(房继明等, 1995)、 $X_{18}$ (重长指数 = 肉重/体长)等 18 项形质评

价指标。

### 1.3 数据处理

采用 SPSS 19.0 软件统计本研究所涉日本囊对虾野生群和越冬群各形质评价指标的均值、标准差和变异系数; 根据上述各项形质评价指标的均值, 计算野生群和越冬群间经标准化处理的欧氏距离(全距为 1.00); 根据所有日本囊对虾实验样本的形质评价指标值进行主成分分析和判别分析, 其中主成分分析以特征值大于 1 且累计贡献率大于 80% 为原则确定主成分(PC)的提取个数, 采用逐步导入剔除法进行判别分析, 并计算判别准确率( $P_1$  为某判别正确的个数占该群体实际个数的百分比,  $P_2$  为某判别正确的个数占判入该群体个数的百分比)和综合判别率( $P$  为两实验对象判别正确的个数之和占实验对象总个数的百分比)(Li *et al*, 2005)来验证所建判别方程组的可靠性。

## 2 结果

### 2.1 日本囊对虾野生群与越冬群间形质评价指标值的比较

由表 1 可见, 日本囊对虾越冬群与野生群个体间的形质特征差异主要表露为: (1) 从分类特征性状上看, 越冬群个体  $X_1$  显著小于野生群( $P < 0.05$ ); (2) 从尺寸比例指数上看, 越冬群个体  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_5$  和  $X_9$  均显著小于野生群( $P < 0.05$ ),  $X_4$ 、 $X_6$ 、 $X_8$ 、 $X_{10}$  均显著大于野生群( $P < 0.05$ ), 两者仅  $X_7$  无显著差异( $P > 0.05$ ), 表明越冬群较野生群个体凸显出胸部较宽而眼窝距和额剑均较短的体型比例特征; (3) 从体横截面指数上看, 越冬群个体  $X_{11}$  和  $X_{13}$  均显著大于野生群( $P < 0.05$ ),  $X_{12}$  与野生群无显著差异( $P > 0.05$ ), 表明越冬群个体的胸部和尾部较野生群更显壮硕; (4) 从营养生理状况指数上看, 越冬群所涉各项形质评价指标均显著大于野生群( $P < 0.05$ ), 表明越冬群较野生群个体具更强的增重和产肉性能。综上可知, 日本囊对虾野生群与越冬群在本研究所涉 18 项形质评价指标中的相似性指数仅为 11.11%, 即两者为在形质特征上具较好区分度的两个群体。

### 2.2 日本囊对虾野生群与越冬群间形质特征的主成分分析

经 Bartlett 球形检验和 KMO 适合度检验, 发现形质评价指标相关系数矩阵与单位阵有显著差异( $P < 0.05$ )且适合度尚可(KMO=0.708 $>$ 0.700), 表明本研究所涉形质评价指标适合做主成分分析。由表 2 可

表 1 日本囊对虾野生群和越冬群实验样本形质评价指标的参数统计  
Tab.1 The parameter statistics of morphological evaluation indices for all tested groups

形质属性	评价指标	代码	越冬群		野生群	
			M±SE	CV(%)	M±SE	CV(%)
分类特征性状	额剑上缘锯齿数(ind)	$X_1$	8±1 <sup>a</sup>	12.50	9±1 <sup>b</sup>	11.11
	眼窝距/体长	$X_2$	2.57±0.29 <sup>a</sup>	11.28	2.64±0.17 <sup>b</sup>	6.44
	眼窝距/头胸甲长	$X_3$	8.98±1.00 <sup>a</sup>	11.14	9.21±0.60 <sup>b</sup>	6.51
	眼窝距/额剑长	$X_4$	10.38±1.21 <sup>a</sup>	11.66	10.06±0.66 <sup>b</sup>	6.56
	眼窝距/眼径	$X_5$	46.60±6.12 <sup>a</sup>	13.13	52.02±4.15 <sup>b</sup>	7.98
尺寸比例指数(%)	尾节宽/体长	$X_6$	5.07±0.37 <sup>a</sup>	7.30	4.81±0.31 <sup>b</sup>	6.44
	尾节宽/胸宽	$X_7$	39.41±4.87 <sup>a</sup>	12.36	38.61±2.68 <sup>a</sup>	6.94
	尾节宽/第二腹节宽	$X_8$	44.69±3.85 <sup>a</sup>	8.61	42.33±3.27 <sup>b</sup>	7.73
	第二腹节宽/胸宽	$X_9$	88.32±9.50 <sup>a</sup>	10.76	91.35±4.07 <sup>b</sup>	4.46
	胸宽/体长	$X_{10}$	13.01±1.43 <sup>a</sup>	10.99	12.46±0.45 <sup>b</sup>	3.61
体横截面指数	胸部横截面指数	$X_{11}$	208.62±27.00 <sup>a</sup>	12.94	179.30±10.37 <sup>b</sup>	5.78
	第二腹节横截面指数	$X_{12}$	158.00±12.83 <sup>a</sup>	8.12	159.11±15.74 <sup>a</sup>	9.89
	尾节横截面指数	$X_{13}$	18.13±2.51 <sup>a</sup>	13.84	14.93±2.24 <sup>b</sup>	15.00
营养生理状况指数	鲜出肉率(%)	$X_{14}$	43.05±2.48 <sup>a</sup>	5.76	37.55±2.80 <sup>b</sup>	7.46
	肥满度指数 (g/cm <sup>3</sup> )	$X_{15}$	1.12±0.06 <sup>a</sup>	5.36	0.99±0.05 <sup>b</sup>	5.05
	肥满度指数 (g/cm <sup>3</sup> )	$X_{16}$	0.48±0.04 <sup>a</sup>	8.33	0.37±0.03 <sup>b</sup>	8.11
	重长指数 (g/cm)	$X_{17}$	1.06±0.19 <sup>a</sup>	17.92	0.8±0.10 <sup>b</sup>	12.50
	重长指数 (g/cm)	$X_{18}$	0.46±0.09 <sup>a</sup>	19.57	0.3±0.04 <sup>b</sup>	13.33
欧式距离			4.243 ( $P<0.01$ )			

注: 同行不同小写字母表示组间具显著差异( $P<0.05$ ); 胸部横截面指数=(胸宽/体长×100%)×(胸高/体长×100%); 第二腹节横截面指数=(第二腹节宽/体长×100%)×(第二腹节高/体长×100%); 尾节横截面指数=(尾节宽/体长×100%)×(尾节高/体长×100%); 肥满度=(体重/体长<sup>3</sup>)×100; 肥满度指数=(肉重/体长<sup>3</sup>)×100; 重长指数=体重/体长; 重长指数=肉重/体长; 下同

表 2 日本囊对虾野生群和越冬群实验样本形质评价指标的主成分分析  
Tab.2 The principal component analysis of morphological evaluation indices for all tested groups

形质属性	评价指标	代码	载荷				
			PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>	PC <sub>4</sub>	PC <sub>5</sub>
分类特征性状	额剑上缘锯齿数	$X_1$	0.847 <sup>*</sup>	0.030	0.055	0.275	-0.306
	眼窝距/体长	$X_2$	-0.785 <sup>*</sup>	-0.069	-0.072	-0.222	0.188
	眼窝距/头胸甲长	$X_3$	-0.294	0.773 <sup>*</sup>	0.496	0.094	0.030
	眼窝距/额剑长	$X_4$	-0.305	0.763 <sup>*</sup>	0.500	0.090	-0.002
	眼窝距/眼径	$X_5$	-0.030	0.707 <sup>*</sup>	0.583 <sup>*</sup>	0.136	-0.065
尺寸比例指数	尾节宽/体长	$X_6$	-0.545 <sup>*</sup>	0.503 <sup>*</sup>	0.400	-0.009	-0.150
	尾节宽/胸宽	$X_7$	0.567 <sup>*</sup>	-0.234	0.556 <sup>*</sup>	-0.401	0.308
	尾节宽/第二腹节宽	$X_8$	0.103	-0.668 <sup>*</sup>	0.725 <sup>*</sup>	-0.015	0.082
	第二腹节宽/胸宽	$X_9$	0.485	-0.249	0.516 <sup>*</sup>	-0.604 <sup>*</sup>	-0.008
	胸宽/体长	$X_{10}$	-0.378	-0.551 <sup>*</sup>	0.350	0.595 <sup>*</sup>	0.102
体横截面指数	胸部横截面指数	$X_{11}$	0.437	0.653 <sup>*</sup>	-0.431	-0.367	0.158
	第二腹节横截面指数	$X_{12}$	0.701 <sup>*</sup>	0.505 <sup>*</sup>	-0.313	-0.170	0.180
	尾节横截面指数	$X_{13}$	-0.037	0.150	-0.097	0.543 <sup>*</sup>	0.705 <sup>*</sup>
营养生理状况指数	鲜出肉率	$X_{14}$	0.751 <sup>*</sup>	-0.015	0.261	-0.222	0.207
	肥满度指数	$X_{15}$	0.721 <sup>*</sup>	0.046	0.008	0.368	-0.149
	肥满度指数	$X_{16}$	0.810 <sup>*</sup>	0.077	0.054	0.193	0.227
	重长指数	$X_{17}$	0.884 <sup>*</sup>	0.062	0.032	0.330	0.036
	重长指数	$X_{18}$	0.774 <sup>*</sup>	0.022	0.067	0.190	-0.313
特征值			6.325	3.522	2.596	1.866	1.040
贡献率(%)			35.137	19.567	14.424	10.366	5.777
累计贡献率(%)			35.137	54.704	69.128	79.493	85.270

\*表示主成分中的主要影响变量

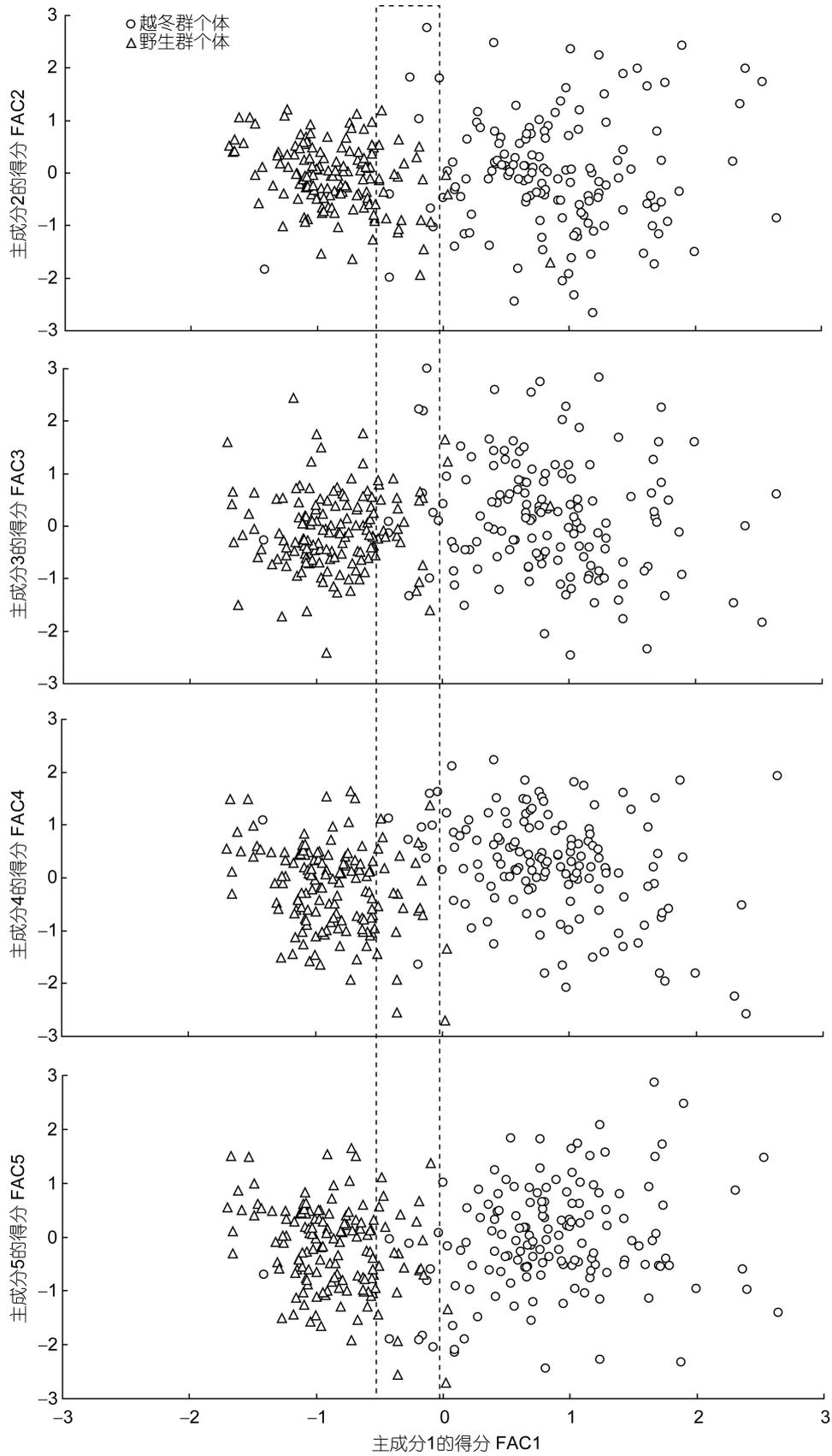


图1 日本囊对虾野生群和越冬群实验样本形质评价指标的主成分散布图

Fig.1 The scatter diagram of principal component of morphological evaluation indices for all tested groups

见, 所列 5 个主成分的特征值均大于 1 且方差累计贡献率达 85.270%, 故可认定它们为能概括本研究涉日本囊对虾越冬群和野生群实验样本间形质特征差异的公共因子。其中, PC<sub>1</sub> 的方差贡献率最大(35.137%)且远高于其它主成分。将载荷绝对值  $P > 0.5$  的变量确定为主要影响变量, 则 PC<sub>1</sub>、PC<sub>2</sub>、PC<sub>3</sub>、PC<sub>4</sub> 主要变量影响力绝对值的排序依次为  $X_{17} > X_1 > X_{16} > X_{18} > X_2 > X_{14} > X_{15} > X_{12} > X_6 > X_7$ 、 $X_3 > X_4 > X_5 > X_8 > X_{11} > X_{10} > X_{12} > X_6$ 、 $X_8 > X_5 > X_7 > X_9$ 、 $X_9 > X_{10} > X_{13}$ , PC<sub>5</sub> 主要变量仅为  $X_{13}$ 。由此可见, 公共因子方差贡献率的大小与其所包含的主要影响变量个数的多寡密切相关, 其中 PC<sub>1</sub> 不仅主要影响变量个数最多, 且所有载荷绝对值达到 0.80 以上的主要影响变量也均仅存在于 PC<sub>1</sub> 中, 无疑其在本研究所涉日本囊对虾越冬群和野生群实验样本间形质特征的区分上较其它主成分更具重要性。绘制 PC<sub>1</sub> 与其它各主成分间的得分散布图, 得图 1。由图 1 可见, 虽然越冬群和野生群个体沿 FAC1 轴自左向右

分别占据各自独立的区域, 但两者在该得分轴[-0.5, 0]区间却存在较大程度的重叠, 表明仅通过 PC<sub>1</sub> 尚未能精准地反映本研究涉日本囊对虾全部实验个体的类群归属问题。

### 2.3 日本囊对虾野生群与越冬群间形质特征的判别分析

采用逐步导入剔除法, 从表 1 所列形质特征变量中筛选出对判别贡献较大的  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{16}$  和  $X_{17}$  等 9 个变量进行判别分析,  $F$  检验表明这些变量均达到极显著水平( $P < 0.01$ )。根据上述 9 个变量建立本研究涉日本囊对虾野生群和越冬群实验样本的 Fisher 分类函数方程组于表 3。经验证, 越冬群实验样本的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 96% 和 99.31%, 野生群实验样本的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 99.33% 和 96.13%, 综合判别准确率为 96.67%。另, 所绘制的典型判别函数判别得分散布图(图 2), 更直观地印证了上述判别结果的可靠性。

表 3 日本囊对虾越冬群和野生群形质特征 Fisher 分类函数方程组的自变量系数及常数项

Tab.3 The independent variable coefficient and constant terms of the Fisher classification functions of morphological traits for all tested groups

实验群体	自变量系数									常数项
	$X_1$	$X_2$	$X_4$	$X_5$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{16}$	$X_{17}$	
越冬群	25.318	-7.346	12.509	0.589	17.258	-0.584	0.484	404.794	40.409	-380.697
野生群	26.293	-1.620	8.908	0.986	20.460	-0.775	0.560	325.133	29.460	-358.167

表 4 日本囊对虾野生群和越冬群实验样本的判别分类结果

Tab.4 The discrimination classification for all the tested groups

实验群体	总数(ind)	预测分类(ind)		判别准确率(%)		综合判别率(%)
		越冬群	野生群	$P_1$	$P_2$	
越冬群	150	144	6	96.00	99.31	97.67
野生群	150	1	149	99.33	96.13	

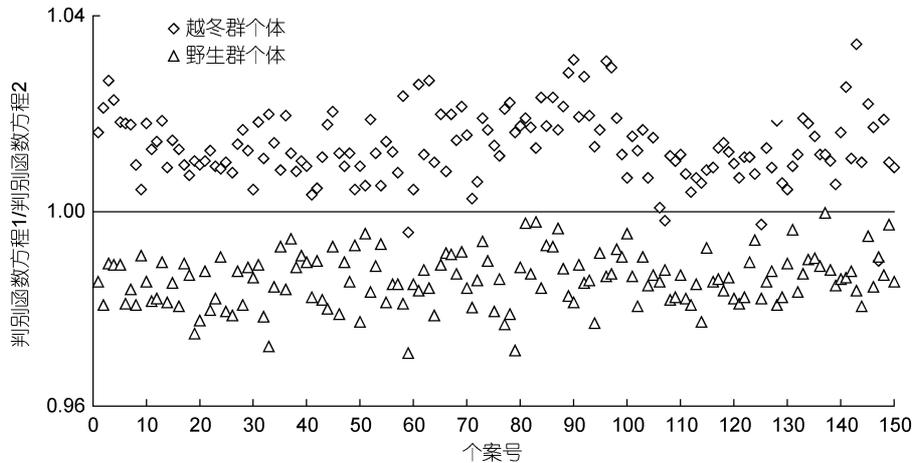


图 2 日本囊对虾野生群和越冬群实验样本的典型判别函数判别得分散布图  
Fig.2 The scatter diagram of the typical discriminant function for all the tested groups

### 3 讨论

#### 3.1 日本囊对虾越冬群与野生群间的形质特征差异及关键判别性状组合的认定

本研究所涉日本囊对虾越冬群与野生群实验样本在表 1 所列的 18 项形质评价指标中, 具显著差异的多达 16 项(表 1), 且两者形质评价指标均值间的标准化欧氏距离也具显著差异(表 2)的情形, 表明两者在形质特征上具较好的区分度。但上述存在显著差异的形质评价指标并非均为区分本研究所涉日本囊对虾越冬群与野生群间形质特征的关键判别变量, 而要找到真正可作为判别两者形质特征差异的关键性评价指标组合尚需借助主成分分析和判别分析才能得以实现。

由表 2 及图 1 可见,  $PC_1$  的贡献率均明显大于其它各主成分, 但仅借助  $PC_1$  尚无法准确判定本研究所涉日本囊对虾位于该得分轴 $[-0.5, 0]$ 区间内个体的类群归属问题。由表 3 及图 2 可见, 从属于  $PC_1$  主要影响变量的  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{16}$ 、 $X_{17}$  和从属于  $PC_2$  主要影响变量的  $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$  等 9 个变量共同构成了判别本研究实验对象类群归属问题的关键变量组合。造成上述情形的原因, 无疑既与  $PC_1$  贡献率(35.137%)仅占累计贡献率(85.270%)的 41.206%, 致使其所含主要影响变量组合尚未能达到可全貌性地概括本研究所涉日本囊对虾越冬群与野生群个体间的形质特征差异有关, 也与  $PC_1$  和  $PC_2$  贡献率相加值(54.704%)占累计贡献率的 64.154%, 致使两者所含主要影响变量在全貌性概括越冬群与野生群个体间形质特征差异上实现了信息的有效互补有关。而至于表 2 中各主成分其它主要影响变量未能被选入关键判别变量组合的原因, 本文作者认为是由于它们和表 3 中部分关键判别变量间存在信息重叠所致, 即: (1) 由越冬群  $X_2$ 、 $X_3$  均显著小于野生群( $P < 0.05$ ),  $X_4$ 、 $X_6$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$  和  $X_{13}$  均显著大于野生群( $P < 0.05$ ), 以及  $X_{12}$  与野生群无显著差异( $P > 0.05$ )(表 1)所表露的,  $X_3$  与  $X_2$  之间、 $X_6$  与  $X_{10}$  之间以及  $X_{13}$  与  $X_{11}$  之间均存在一定程度的信息重叠的情形, 是导致与  $X_2$ 、 $X_4$  同属眼窝距与虾体长轴上特征尺寸性状间比例关系的体型指标  $X_3$ 、与  $X_{11}$ 、 $X_{12}$  同属虾体横截面指数的  $X_{13}$ 、以及与  $X_{10}$  同属虾体纵向尺寸性状与体长之间比例关系的体型指标  $X_6$  均未被选入关键判别变量的主因; (2)  $X_5$ 、 $X_7$ 、 $X_8$  和  $X_9$  均为表征虾体纵向尺寸性状间比例关系的体型指标。由越冬群  $X_5$ 、 $X_9$  均显著小于野生群( $P < 0.05$ ),  $X_7$ 、 $X_8$

均显著大于野生群( $P < 0.05$ )(表 1)所表露的,  $X_5$  与  $X_9$  之间、 $X_7$  与  $X_8$  之间均存在一定程度的信息重叠, 以及  $X_8$  与  $X_9$  间的乘积与  $X_7$  密切相关的情形, 均是导致  $X_7$ 、 $X_8$  和  $X_9$  未能被选入关键判别变量的原因; (3)  $X_{14}$ 、 $X_{15}$  和  $X_{18}$  均未能入选表征营养生理状况关键判别变量的原因, 既缘于三者者在  $PC_1$  中的载荷值均小于  $X_{16}$  和  $X_{17}$ , 更为重要的是它们均与  $X_{16}$ — $X_{17}$  组合间存在信息重叠有关。综上所述, 可将上述  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{16}$ 、 $X_{17}$  等 9 个相互之间无信息重叠的变量认定为判别本研究所涉日本囊对虾越冬群与野生群实验样本形质差异的关键变量组合。

#### 3.2 关于日本囊对虾越冬群与野生群间形质特征差异的原因分析

由表 2 可见, 以  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_6$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{14}$ 、 $X_{15}$ 、 $X_{16}$ 、 $X_{17}$  和  $X_{18}$  为主要影响变量的  $PC_1$  系以营养生理状况指数、额剑上缘锯齿数以及腹部肌肉发达程度为主导的, 并与尾节和眼窝距宽窄程度相维系的体质强壮程度因子, 以  $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_8$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{11}$  和  $X_{12}$  为主要影响变量的  $PC_2$  是以寻食视野和胸腔空间大小为主导的, 并与腹节强壮程度和尾节宽窄程度相维系的捕食运动功能因子, Backhaus 等(2000)指出主成分越靠后误差就越大, 故将以  $X_5$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 、 $X_9$ 、 $X_{10}$ 、 $X_{13}$  为主要影响变量的  $PC_3$ 、 $PC_4$  和  $PC_5$  统归为以尾节发达程度主导的, 并与胸腔大小和视距远近相维系的避敌运动功能因子。上述 5 个公共因子所涵盖的体现本研究所涉日本囊对虾实验对象组间差异的体质强壮程度与捕食、避敌运动能力等一系列特征信息, 揭示了机体能量分配策略及其对应的捕食与避敌对策是引起本研究所涉日本囊对虾越冬群与野生群实验样本间产生形质特征差异的主因, 从而客观地反映了所处生存环境的严峻度差异在导致本研究所涉日本囊对虾实验群体形质特征出现明显偏离上所具的生态重要性。

Wagner 等(2001)认为, 同一物种的不同群体因长期适应不同的生存环境而形成了各自特有的包括生长、发育、繁殖以及对环境因子的适应力等的生物学特性。表 1 所示的本研究所涉日本对虾越冬群与野生群实验样本间的形质特征差异, 也充分支持了上述机体能量分配策略及其对应的捕食与避敌对策为影响两者间形质特征差异主因的观点, 即: (1) Schulte-Hostedde 等(2005)指出, 动物个体的生理或营养状况与其体内储存的能量物质间, 以及体内存储的能量物质与体重间均常呈正相关。突出于虾类头胸甲前端的额剑, 既具防御敌害及在游泳中起平衡身体等

作用(王安利等, 1993; 沈辉等, 2010), 也系表征虾类体质强壮程度和生长代谢旺盛程度的重要体征(王志铮等, 2012)。通径分析表明, 北部湾野生日本囊对虾的额剑上缘锯齿数与体重间的通径系数呈显著水平( $P < 0.05$ ) (孙成波等, 2008), 本研究所涉日本囊对虾野生群的额剑长与体重之间, 以及额剑上缘锯齿数与肉重之间的通径系数均达到显著水平( $P < 0.05$ ), 而越冬群个体的额剑长和额剑上缘锯齿数与体重和肉重间的通径系数则均未达到显著水平( $P > 0.05$ ) (李鸿鹏等, 2015)。无疑, 额剑在表征日本囊对虾野生群个体的体质强壮程度和生长代谢旺盛程度上较越冬群个体更具重要性。本研究中, 野生群个体  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  和  $X_5$  均显著大于越冬群个体( $P < 0.05$ ), 而越冬群个体  $X_4$  及所有营养生理状况指数均显著大于野生群个体( $P < 0.05$ )的结果, 无疑揭示了越冬群个体因食物保障程度和寻食成功率明显高于野生群个体, 故其采取通过显著缩小眼径和缩短眼窝距以更易于定位周边食物来提高捕食效率, 通过显著减少额剑上缘锯齿数和缩短第二腹节、额剑的长度以弱化食物追捕体征实现节能降耗的生存策略, 从而促使其营养生理状况指数均显著大于野生群个体( $P < 0.05$ ); (2) 对虾类具通过张开尾扇, 腹部迅速向前弯曲, 使身体向后上方突然跃起, 随即重新伸直腹部, 并展开步足与触角, 使身体缓慢下沉的后跃御敌习性(堵南山, 1993), 即尾扇在对虾类遇敌急速逃逸上具重要作用(王克行, 1997)。本研究中, 越冬群个体  $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$  以及  $X_{13}$  均显著大于野生群个体( $P < 0.05$ )的结果, 无疑揭示了高密度圈养于露天池塘的越冬群个体, 为减少种内自残机率而采取的通过显著增粗尾节以起到增强逃逸能力的避敌对策; (3) 日本囊对虾系具洄游习性的经济虾种, 其幼体、仔虾与成虾生活于不同海区(堵南山, 1993; 毛锡林等, 1994), 而养殖于冬季露天池塘的日本囊对虾则需耐受持续低温和高 pH 值的双重胁迫(富裕等, 2014)。甲壳动物的鳃具呼吸、排泄、渗透压调节及病害防御等功能(周双林等, 2001)。本研究中, 越冬群个体  $X_{10}$ 、 $X_{11}$  均显著大于野生群个体( $P < 0.05$ ), 以及在  $X_{12}$  与野生群个体相近( $P > 0.05$ )情形下,  $X_9$  显著小于野生群个体( $P < 0.05$ )的结果, 无疑揭示了越冬群个体为尽可能消除高严峻度养殖理化环境对其存活和生长带来的负面影响, 而采取的通过扩增可表征鳃室空间大小的胸腔以起到提高耐受逆境能力的生存对策。上述分析表明, 导致日本囊对虾野生群与越冬群个体间形质特征差异的本质, 既为

它们对各自所处生境的表型适应(戈峰, 2008), 也是它们基于生境选择压力而就机体能量分配策略及其对应的捕食与避敌对策进行权衡与优化的结果。因此, 日本囊对虾秋苗野生亲本形质特征的选择, 应以秋苗越冬养成群体为参照。

## 参 考 文 献

- 王安利, 母学全, 周世梅等, 1993. 中国对虾行为的观察. 海洋科学, (4): 16—18
- 王志铮, 杨 磊, 施建军等, 2012. 日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)池养越冬抱卵亲虾表型性状对个体繁殖力的影响效应. 海洋与湖沼, 43(1): 166—173
- 王克行, 1997. 虾蟹增养殖学. 北京: 中国农业出版社, 8
- 戈 峰, 2008. 现代生态学(2版). 北京: 科学出版社, 63
- 毛锡林, 蒋文波, 1994. 舟山海域海洋生物志. 杭州: 浙江人民出版社, 114
- 孙成波, 邓先余, 李镇泉等, 2008. 北部湾野生日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)体重和形态性状的关系. 海洋与湖沼, 39(3): 263—268
- 李义军, 李 婷, 王 平等, 2010. 日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)3个野生种群和1个养殖种群的形态差异与判别分析. 海洋与湖沼, 41(4): 500—504
- 李鸿鹏, 富 裕, 任凤芝等, 2015. 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. 海洋与湖沼, 46(5): 1218—1227
- 何永琴, 苏永全, 毛 勇等, 2012. 用微卫星标记分析不同形态变异类型日本囊对虾的遗传多样性. 水产学报, 36(10): 1520—1528
- 沈 辉, 万夕和, 许 璞等, 2010. 脊尾白虾的行为学观察研究. 海洋科学, 34(10): 53—56
- 宋晓红, 毛 勇, 董宏标等, 2014. 两种形态变异类型日本囊对虾稚虾高温耐受性的比较. 水产学报, 38(1): 84—90
- 周双林, 姜乃澄, 卢建平等, 2001. 甲壳动物渗透压调节的研究进展. 鳃的结构与功能及其影响因子. 东海海洋, 19(1): 44—51
- 房继明, 孙儒泳, 刘志龙, 1995. 布氏田鼠肥满度分析和小型兽类肥满度指标 K 与  $K_{wt}$ (重长指标)的比较. 动物学报, 41(2): 141—148
- 堵南山, 1993. 甲壳动物学-下册. 北京: 科学出版社, 742—763
- 董宏标, 苏永全, 毛 勇等, 2014a. 日本囊对虾2种形态变异类型群体形态性状对体质量的影响效果分析. 厦门大学学报(自然科学版), 53(2): 289—296
- 董宏标, 苏永全, 毛 勇等, 2014b. 室内环境下日本囊对虾2种形态变异类型群体生长特性比较研究. 热带海洋学报, 33(4): 51—60
- 富 裕, Fatou D, 陈汉春等, 2014. 密植浒苔对冬季露天池塘池底水温、酸碱度和溶解氧的影响效应. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 33(5): 389—393, 413
- 蔡晓鹏, 游欣欣, 曾凡荣等, 2010. 中国沿海日本囊对虾5个地理群体间形态差异比较分析. 中国水产科学, 17(3): 478—486
- Backhaus K, Erichson B, Plinke W *et al*, 2000. Multivariate Statistical Analysis. Berlin: Springer Berdelberg
- Fulton T W, 1911. The Sovereignty of The Sea. London and

- Edinburgh: William Blackwood and Sons
- Li S F, Wang C H, Cheng Q Q, 2005. Morphological variations and phylogenesis of four strains in *Cyprinus carpio*. 水产学报, 29(5): 606—611
- Schulte-Hostedde A I, Zinner B, Millar J S *et al*, 2005. Restitution of mass-size residuals: validating body condition indices. *Ecology*, 86(1): 155—163
- Tsio K H, Wang Z Y, Chu K H, 2005. Genetic divergence between two morphologically similar varieties of the kuruma shrimp *Penaeus japonicus*. *Marine Biology*, 147(2): 367—379
- Tsio K H, Wang Z Y, Chu K H, 2007. Molecular population structure of the kuruma shrimp *Penaeus japonicus* species complex in western Pacific. *Marine Biology*, 150(6): 1345—1364
- Wagner E J, Arndt R E, Brough M, 2001. Comparative tolerance of four stocks of cutthroat trout to extremes in temperature. *Western North American Naturalist*, 61(4): 434—444

## DIFFERENCES IN QUANTITATIVE MORPHOLOGY OF *MARSUPENAEUS JAPONICUS* BETWEEN WILD AND CULTIVATED POPULATIONS OFFSHORE ZHOUSHAN, EAST CHINA

FU Yu<sup>1</sup>, LI Hong-Peng<sup>1</sup>, REN Su-Yi<sup>1</sup>, WANG Zhi-Zheng<sup>1</sup>, LING Zu-Hao<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Shacheng Aquafarm, Daishan County, Daishan 316200, China)

**Abstract** According to the fact that culture survival of autumn shrimp larvae of *Marsupenaeus japonicus* is significantly lower than the spring shrimp larvae and summer shrimp larvae, selecting autumn broodstock suitable for local offshore outdoor culture has become a great demand. We sampled 150 individuals each from wild and outdoor cultured-overwintered populations offshore Zhoushan, East China, from which 18 indices in quantitative morphology were studied statistically, to determine the differences between the two populations. Cluster, principal component, and discriminant analyses were conducted. The results show that the similarity index was only 11.11%, and the euclidean distance was 4.243 ( $P < 0.01$ ). The accumulative variance percentage of five principal components whose eigenvalues are larger than 1 reached 85.27%. The first principal components (PC 1) consisting of nutriture index, rostrum sawteeth numbers at superior margin, and abdominal muscularity level could be regarded as the tonicity factor. The PC 2 was predator-prey and movement related factors for searching food and chest size. The next three PCs were the factor for avoiding harm reflecting telson muscle level. In discriminant analysis, nine major contributors were used as independent variables for building Fisher discriminant functions, from which the two populations could be clearly separated, and the rates of discriminant accuracy for wild population was 99.33% ( $P_1$ ) and 96.13% ( $P_2$ ), and 96% ( $P_1$ ) and 99.31% ( $P_2$ ) for overwintered-cultivated population, respectively; and the comprehensive rate combined for both populations was 97.67%. Therefore, the selection of quantitative morphology indices for wild autumn broodstock should refer to those of an overwintered-cultivated population.

**Key words** *Marsupenaeus japonicus*; wild population; overwintered-cultivated population; quantitative morphology; multivariate statistical analysis