

日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)秋繁同生群仔虾不同耐寒性能群体间的形态表型差异*

王志铮¹ 张晓霞¹ 任夙芝¹ 蒋宏雷² 刘伟健²

Donatha Kajuna¹ Msumenji Phiri¹

(1. 浙江海洋大学水产学院 舟山 316022; 2. 宁波市海洋与渔业研究院 宁波 315103)

摘要 以水温 16°C、pH 8.1±0.2、盐度 20 的砂滤海水为实验用水,以体长(7.643±0.639)mm 的日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)秋繁同生群仔虾为实验对象,经确认其在水温由 16°C 瞬降至 14°C 后并保持 96h 恒温的最终成活率略低于 5%后,以此为水温骤降胁迫处理方式,采取显微扫描像素测量技术和多元分析方法定量研究了 A、B、C、D、E 实验群体,依次为温降胁迫处理后(0—24)h、(24—48)h、(48—72)h、(72—96)h 时段内的死亡群体和温降胁迫处理后 96h 时的存活群体间形态特征的差异。结果表明:(1) 各实验群体在本研究所涉 15 项形态性状中均无显著差异($P>0.05$)仅为第一触角柄长、额剑长和眼径,在所涉 17 项形态比例指标均无显著差异($P>0.05$)仅为尾节高/尾节长;(2) 随耐寒性能差异的增大,各实验群体间的欧氏距离也随之增大,且均达到极显著水平($P<0.01$);(3) 经主成分分析,提取到的 4 个特征值均大于 1 的主成分,累计贡献率达 87.590%,其中载荷绝对值大于 0.80 的主要影响变量均仅存在于第 1 主成分中;(4) 将 E 实验群体定义为耐寒处理选留群,其余实验群体统归为耐寒处理淘汰群,采用逐步导入判别法建立的 Fisher 分类函数方程组可较清晰地区分淘汰群和选留群个体,其中选留群和淘汰群个体的判别准确率 P_1 分别为 99%和 88.75%, P_2 分别为 89.80%和 98.88%,两者综合判别准确率为 93.88%。

关键词 日本囊对虾;秋繁仔虾同生群;形态表型;耐寒性能;多元分析

中图分类号 S968 **doi:** 10.11693/hyhz20170600161

水温既是决定水生生物地理分布的重要生态因子,也是影响水生生物生长、发育和繁衍的重要环境变量。开展耐温品系选育,助力水产养殖动物拓展养殖地理区域,一直是水产养殖动物选择育种的常规命题。日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)系我国东海沿海重要的海水虾类养殖对象,在浙江沿海地区可实施“春苗夏收”、“夏苗秋收”和“秋苗春收”三茬养殖,但养殖成活率一直以“秋苗春收”为最低,致使该茬商品虾长期以来供不应求,目前市场平均售价高达 360 元/kg。已有研究表明,日本囊对虾仔虾不仅耐升温能力强于耐降温能力,而且耐高温能力也强于

耐低温能力(江敏等, 2002),即耐寒能力在表征日本囊对虾抗逆性能和评价其苗种质量上较耐高温能力更具生态重要性。开展日本囊对虾耐寒品系的筛选研究,以切实提升“秋苗春收”养殖成活率,无疑对于提振浙江沿海日本囊对虾养殖产业具重要的现实意义。

形态表型系表征生物在自然进化过程中适应外界环境以增强生存潜能的宏观生物学信息。表型特征的变化可以提高生物的生存潜力(刘莉等, 2006),因自然选择,长期生活于低温环境中的生物往往会在形态、生理和行为上表现出较为明显的适应性改变(李博, 2000)。据报道,分布于西太平洋海域的日本囊

* 宁波市科技计划项目, 2016C10007 号; 舟山市科技计划项目, 2013C41013 号; 宁波市海洋与渔业局科技项目“2015 年宁波市本级增殖放流技术指导 and 效果评价”。王志铮, 教授/研究员, E-mail: wzz_1225@163.com

收稿日期: 2017-06-20, 收修改稿日期: 2017-07-19

对虾具很高的遗传多样性, 可根据其头胸甲侧面斜纹的延伸特征将其分型为形态变异 型和 型(Tsoi *et al.*, 2005, 2007); 主布于我国广东惠来以北海域的形态变异 型, 其稚虾的耐高温性能明显弱于主布于广东惠来以南海域的形态变异 型(宋晓红等, 2014); 对取自福建厦门的野生群体和养成于海南而种苗源自福建厦门的人工养成群体间形态差异进行比较研究, 发现两者在形态比例特征上已出现了较大程度的偏离(李义军等, 2010)。上述有关日本囊对虾因所处生存水温差异而导致其群体形态表型表露偏移的现象, 无疑为开展仔虾同生群不同耐寒性能群体间的表型分型研究提供了重要启示。与此同时, 日本囊对虾秋繁同生群仔虾在不同抗流性能群体间、不同耐干露性能群体间均表露出较为显著的表型差异特征(王志铮等, 2016a, b)的结果, 也进一步映射了可对日本囊对虾秋繁同生群不同耐寒性能仔虾群体进行表型分型的可能性。鉴于此, 本文作者于 2014 年 10 月开展了日本囊对虾秋繁同生群仔虾耐寒性能与形态比例性状间的相关性研究, 旨为不同耐寒性能等级仔虾的形态筛分提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 仔虾和实验水源

仔虾来源、总长规格及实验前暂养处理方法, 实验水源及其理化条件均完全同王志铮等(2016a, b)。

1.2 实验方法

将仔虾培养水温由水源温度 18°C 缓慢过渡至 16°C。以 96h 为实验周期, 以上海博迅实业有限公司医疗设备厂生产的 SPX-250B-Z 型恒温生化培养箱为恒温控制仪, 采取静水停饲法, 将经预实验确认的实验仔虾由培养水温 16°C 骤降至 14°C 并保持 96h 恒温的最终成活率略低于 5%的实验结果为依据, 采取上述温降处理方式, 于暂养水槽中随机选取 3000 尾实验用仔虾, 以 150ind/L 为实验密度, 以白色圆底塑料盆(实验实际容积 1L)为实验容器单元, 开展日本囊对虾秋繁仔虾同生群中不同耐寒性能群体间的表型差异研究, 实验期间及时取出死亡个体, 并将(0—24)h、(24—48)h、(48—72)h、(72—96)h 等 4 个实验时段内的死亡个体和实验结束时刻尚存活的个体依次定义为 A、B、C、D、E 等 5 个实验类群。于各实验类群中分别随机选取 100 尾作为其测定样本, 并完全按王志铮等(2016a, b)的方法逐尾进行形态学指标测定。

1.3 数据处理

采用 SPSS 17.0 软件, 按王志铮等(2016a, b)的方法, 对所得形态学测量结果依次进行组间表型差异显著性检验($P < 0.05$ 视为显著水平)、基于标准化处理的欧氏距离(全距为 1.00)的相似性程度($P < 0.05$ 视为显著水平)、基于所有实验样本形态比例指标值的主成分分析, 以及针对耐寒淘汰群(A、B、C、D 实验群体)和选留群(E 实验群体)的体型判别分析。

2 结果

2.1 形态表型差异

由表 1 可见, 不同耐寒性能实验仔虾群体间在所测 15 项形态性状中, 除 X_2 、 X_3 、 X_4 均无显著差异($P > 0.05$), X_5 呈 $A > E > D \approx C > B$, X_6 呈 $A > E > D > C \approx B$ 外, 其余均呈 $A > E > D > C > B$ ($P < 0.05$); 由表 2 可见, 在所涉 17 项形态比例指标中, 除 C_{14} 呈 $B > C \approx D > E > A$, C_{15} 呈 $A \approx D > B \approx C \approx E$, C_{16} 呈 $A \approx D > C > B > E$, C_{17} 无显著差异($P > 0.05$)外, 其余均呈 $B > C > D > E > A$ ($P < 0.05$)。综上可知, 不同耐寒性能实验群体间在本研究所涉形态性状和形态比例特征上均存在较为明显的差异, 且形态比例特征在表征不同耐寒性能实验群体间的差异上较形态性状更具有序性。

2.2 表型相似性程度分析

据表 2 所列各项形态比例指标的均值, 分别计算上述各耐寒性能实验群体间的欧氏距离(表 3)。由表 3 可见, 各实验群体间的欧氏距离均有随耐寒性能差异的增大而呈显著增大的趋势, 且均达到极显著水平($P < 0.01$), 进一步表明可借助形态比例性状来甄别各实验群体间的耐寒性能差异。

2.3 主成分分析

经 Bartlett 球形检验($P < 0.05$)和 KMO 适合度检验($KMO = 0.881 > 0.700$, 尚可), 对表 2 所列形态比例指标进行主成分分析, 得表 4。由表 4 可见, 表中所列 4 个主成分的方差累计贡献率为 87.590%, 表明这些主成分可概括不同耐寒性能群体间的表型差异。其中, PC_1 的方差贡献率远大于其他各主成分之和, 且载荷绝对值大于 0.80 的影响变量也仅存在于 PC_1 中。无疑, PC_1 在甄别不同耐寒性能群体间的表型差异上具关键性作用。但由 PC_1 与其他 3 个主成分间的得分散布图(图 1)可见, 沿 FAC_1 轴自左向右, 相邻耐寒性能仍均存在一定程度的重叠, 表明 PC_1 在归纳本研究实测样本的类群归属上受到了某些关键影响变量的干扰。

表 1 不同耐寒类群形态测量指标的均值和标准差($n=100$)(单位: mm)
Tab.1 The parameter statistics of morphological measurement indexes for all tested groups

代码/测量指标	A 实验群体		B 实验群体		C 实验群体		D 实验群体		E 实验群体	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
X ₁ /总长	8.026 ^a	0.232	6.823 ^b	0.230	7.167 ^c	0.240	7.396 ^d	0.248	7.762 ^e	0.228
X ₂ /第一触角柄长	1.029 ^a	0.028	1.020 ^a	0.028	1.025 ^a	0.031	1.019 ^a	0.030	1.026 ^a	0.027
X ₃ /额剑长	1.391 ^a	0.039	1.381 ^a	0.039	1.391 ^a	0.041	1.377 ^a	0.040	1.386 ^a	0.039
X ₄ /眼径	0.308 ^a	0.009	0.307 ^a	0.009	0.308 ^a	0.009	0.306 ^a	0.009	0.308 ^a	0.010
X ₅ /头胸甲长	2.823 ^a	0.160	2.601 ^b	0.141	2.674 ^c	0.150	2.673 ^c	0.158	2.774 ^d	0.153
X ₆ /头胸甲高	0.998 ^a	0.061	0.910 ^b	0.051	0.932 ^b	0.051	0.946 ^c	0.055	0.970 ^d	0.055
X ₇ /第一腹节长	0.453 ^a	0.013	0.417 ^b	0.011	0.427 ^c	0.012	0.433 ^d	0.012	0.446 ^e	0.013
X ₈ /第二腹节长	0.405 ^a	0.011	0.371 ^b	0.011	0.380 ^c	0.011	0.387 ^d	0.012	0.397 ^e	0.011
X ₉ /第三腹节长	0.461 ^a	0.013	0.425 ^b	0.012	0.436 ^c	0.013	0.442 ^d	0.011	0.452 ^e	0.014
X ₁₀ /第四腹节长	0.383 ^a	0.011	0.352 ^b	0.010	0.361 ^c	0.010	0.367 ^d	0.010	0.376 ^e	0.011
X ₁₁ /第五腹节长	1.723 ^a	0.049	1.581 ^b	0.045	1.622 ^c	0.050	1.643 ^d	0.048	1.689 ^e	0.046
X ₁₂ /尾节长	0.881 ^a	0.024	0.808 ^b	0.024	0.830 ^c	0.024	0.843 ^d	0.025	0.864 ^e	0.024
X ₁₃ /尾扇长	1.241 ^a	0.034	1.136 ^b	0.032	1.165 ^c	0.034	1.185 ^d	0.034	1.213 ^e	0.033
X ₁₄ /腹节高	0.774 ^a	0.024	0.711 ^b	0.019	0.729 ^c	0.020	0.739 ^d	0.021	0.757 ^e	0.023
X ₁₅ /尾节高	0.226 ^a	0.007	0.207 ^b	0.006	0.213 ^c	0.006	0.216 ^d	0.006	0.221 ^e	0.006

注: A 实验群体: 实验(0—24)h 时段内的死亡群体; B 实验群体: 实验(24—48)h 时段内的死亡群体; C 实验群体: 实验(48—72)h 时段内的死亡群体; D 实验群体: 实验(72—96)h 时段内的死亡群体; E 实验群体: 实验结束时的残存群体; 同一行均值上标不同字母示组间显著差异($P<0.05$)。下同

表 2 不同耐寒类群形态比例指标的均值和标准差($n=100$)
Tab.2 The differences of morphological proportion traits for all tested groups

代码/形态比例指标	A 实验群体		B 实验群体		C 实验群体		D 实验群体		E 实验群体	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
C ₁ /(第一触角柄长/总长)	0.128 ^a	0.003	0.150 ^b	0.003	0.143 ^c	0.003	0.138 ^d	0.003	0.132 ^e	0.003
C ₂ /(额剑长/总长)	0.173 ^a	0.004	0.203 ^b	0.005	0.194 ^c	0.004	0.186 ^d	0.004	0.179 ^e	0.003
C ₃ /(眼径/总长)	0.038 ^a	0.001	0.045 ^b	0.001	0.043 ^c	0.001	0.041 ^d	0.001	0.040 ^e	0.001
C ₄ /(头胸甲长/总长)	0.352 ^a	0.013	0.381 ^b	0.013	0.373 ^c	0.014	0.361 ^d	0.015	0.357 ^e	0.013
C ₅ /(第一腹节长/总长)	0.056 ^a	0.001	0.061 ^b	0.001	0.060 ^c	0.001	0.059 ^d	0.001	0.057 ^e	0.001
C ₆ /(第二腹节长/总长)	0.050 ^a	0.001	0.054 ^b	0.001	0.053 ^c	0.001	0.052 ^d	0.001	0.051 ^e	0.001
C ₇ /(第三腹节长/总长)	0.057 ^a	0.001	0.062 ^b	0.001	0.061 ^c	0.001	0.060 ^d	0.001	0.058 ^e	0.001
C ₈ /(第四腹节长/总长)	0.048 ^a	0.001	0.052 ^b	0.001	0.050 ^c	0.001	0.050 ^d	0.001	0.048 ^e	0.001
C ₉ /(第五腹节长/总长)	0.215 ^a	0.005	0.232 ^b	0.005	0.226 ^c	0.005	0.222 ^d	0.005	0.218 ^e	0.005
C ₁₀ /(尾节长/总长)	0.110 ^a	0.002	0.118 ^b	0.003	0.116 ^c	0.002	0.114 ^d	0.003	0.111 ^e	0.002
C ₁₁ /(尾扇长/总长)	0.155 ^a	0.003	0.167 ^b	0.004	0.163 ^c	0.003	0.160 ^d	0.003	0.156 ^e	0.003
C ₁₂ /(第一触角柄长/头胸甲长)	0.365 ^a	0.014	0.393 ^b	0.015	0.384 ^c	0.015	0.382 ^d	0.017	0.371 ^e	0.014
C ₁₃ /(额剑长/头胸甲长)	0.494 ^a	0.020	0.532 ^b	0.021	0.521 ^c	0.020	0.516 ^d	0.021	0.501 ^e	0.019
C ₁₄ /(眼径/头胸甲长)	0.109 ^a	0.004	0.118 ^b	0.004	0.115 ^c	0.005	0.115 ^c	0.005	0.111 ^e	0.004
C ₁₅ /(头胸甲高/头胸甲长)	0.354 ^a	0.013	0.350 ^b	0.016	0.349 ^b	0.014	0.354 ^a	0.015	0.350 ^b	0.014
C ₁₆ /(腹节高/第一腹节长)	1.708 ^a	0.037	1.703 ^b	0.031	1.705 ^c	0.032	1.707 ^a	0.033	1.697 ^d	0.033
C ₁₇ /(尾节高/尾节长)	0.256 ^a	0.005	0.256 ^a	0.005	0.256 ^a	0.005	0.257 ^a	0.005	0.256 ^a	0.005

表 3 实验群体形态比例特征间的欧氏距离($n=100$)
Tab.3 The Euclidean distance of morphological proportion traits for all tested groups

类群	A	B	C	D
B	1.188	0	—	—
C	2.322	1.660	0	—
D	3.133	2.102	2.020	0
E	3.853	2.827	2.155	1.466

表 4 实验群体形态比例特征指标的主成分分析
Tab.4 The principal component analysis of morphological proportion traits for all tested groups

代码/形态比例指标	载荷				
	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅
C ₁ /(第一触角柄长/总长)	0.961*	-0.07	0	0.045	0.961*
C ₂ /(额剑长/总长)	0.954*	-0.078	0.007	0.043	0.954*
C ₃ /(眼径/总长)	0.953*	-0.075	0.04	0.044	0.953*
C ₄ /(头胸甲长/总长)	0.552*	-0.796*	-0.034	0.071	0.552*
C ₅ /(第一腹节长/总长)	0.907*	-0.143	0.149	-0.217	0.907*
C ₆ /(第二腹节长/总长)	0.891*	-0.103	-0.029	0.009	0.891*
C ₇ /(第三腹节长/总长)	0.908*	-0.098	-0.013	0.066	0.908*
C ₈ /(第四腹节长/总长)	0.899*	-0.118	0.022	0.048	0.899*
C ₉ /(第五腹节长/总长)	0.900*	-0.13	-0.02	0.064	0.900*
C ₁₀ /(尾节长/总长)	0.912*	-0.091	-0.26	-0.142	0.912*
C ₁₁ /(尾扇长/总长)	0.904*	-0.104	0.013	0.064	0.904*
C ₁₂ /(第一触角柄长/头胸甲长)	0.634*	0.714*	0.033	-0.019	0.634*
C ₁₃ /(额剑长/头胸甲长)	0.64*	0.701*	0.042	-0.015	0.64*
C ₁₄ /(眼径/头胸甲长)	0.646*	0.699*	0.074	-0.009	0.646*
C ₁₅ /(头胸甲高/头胸甲长)	0.018	0.697*	-0.153	0.063	0.018
C ₁₆ /(腹节高/第一腹节长)	-0.038	0.046	-0.534*	0.83*	-0.038
C ₁₇ /(尾节高/尾节长)	-0.016	-0.003	0.83*	0.544*	-0.016
特征值	9.988	2.719	1.100	1.083	9.988
贡献率(%)	58.756	15.996	6.470	6.368	58.756
累计贡献率(%)	58.756	74.751	81.222	87.590	58.756

2.4 判别分析

基于主成分分析, 采用逐步导入剔除法, 对 C₁、C₂、C₃、C₄ 等 4 个对淘汰群和选留群判别贡献率较大的表型变量进行判别分析。经检验, 上述变量的 F 值均达到极显著水平($P<0.01$)。据此, 建立基于实测样本的 Fisher 分类函数方程组(表 5),

并绘制“选留群典型函数判别方程得分/淘汰群典型函数判别方程得分”散布图(图 2)。由图 2 和表 6 可见, 淘汰群和选留群实测样本的判别准确率 P_1 分别为 88.75%和 99%, P_2 分别为 98.88%和 89.80%, 两者综合判别准确率为 93.88%, 具较强的判别可靠性。

表 5 淘汰群与选留群形态比例特征 Fisher 分类函数方程组
Tab.5 The independent variable coefficient and constant terms of the Fisher classification functions

类群	自变量系数				常数项
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	
淘汰群	-1166.66	-372.448	-3762.72	10166.78	-624.356
选留群	-1283.57	-474.437	-4225.92	10300.36	-592.515

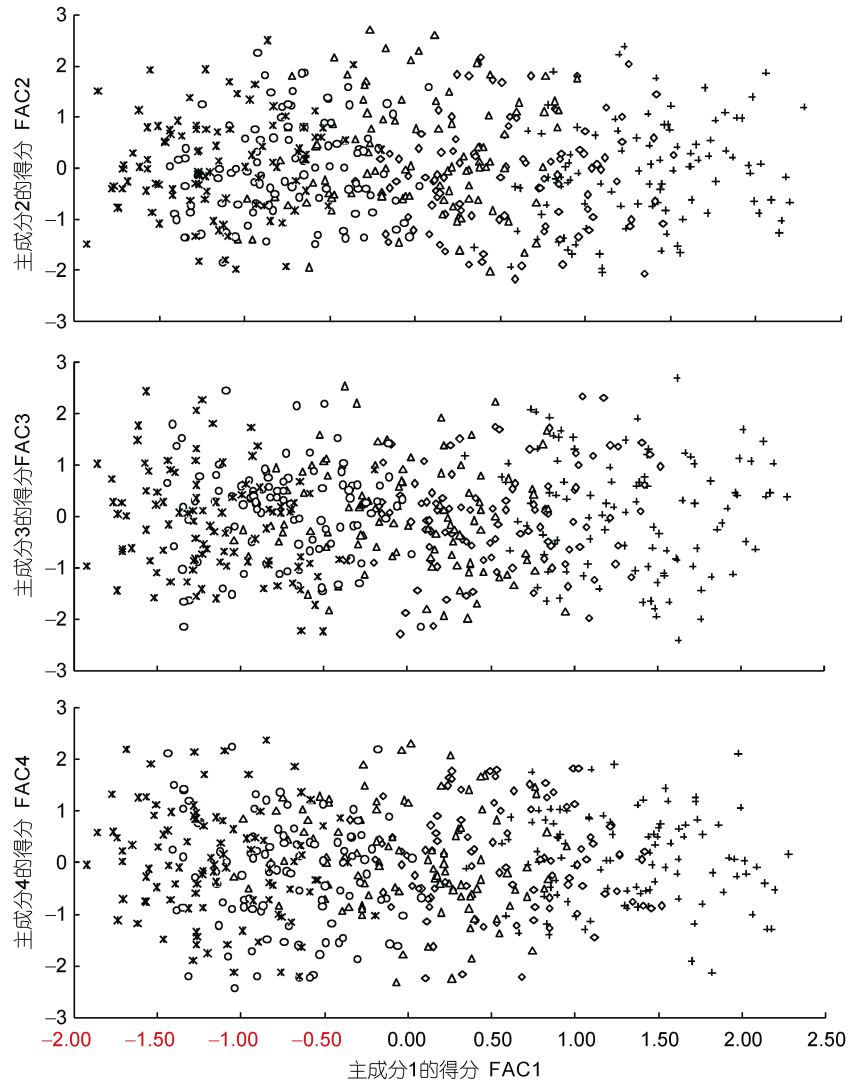


图 1 主成分散布图

Fig.1 The scatter diagram of principal component of morphological proportion traits for all tested groups
注: +、Δ、○、*依次示 A、B、C、D、E 实验群体个体

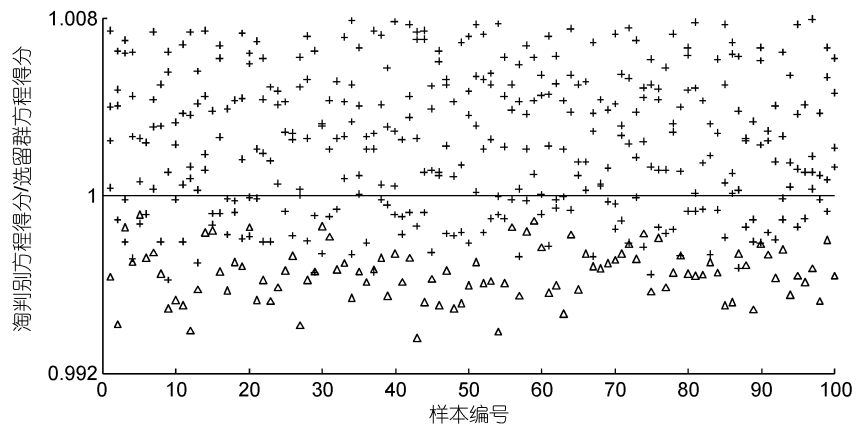


图 2 典型判别函数判别得分散布图

Fig.2 The scatter diagram of the typical discriminant function for all the tested groups
注: +: 耐寒淘汰群个体; Δ: 耐寒选留群个体

表 6 淘汰群与选留群实验样本的判别结果
Tab.6 The discrimination classification for all the tested groups

类群	样本数(ind)	预测分类(ind)		判别准确率(%)		综合判别率(%)
		淘汰群	选留群	P_1	P_2	
淘汰群	400	355	45	88.75	98.88	93.88
选留群	100	1	99	99.00	89.80	

3 讨论

3.1 关于实验参数的设置原则

实验初始水温、水温骤降幅度以及实验时长既是检验仔虾耐寒能力的重要参数,也是区分不同耐寒性能仔虾群体的重要变量。基于仔虾降温胁迫与水生生物急性毒性实验类似,均分别以胁迫因子和实验动物存活率为自变量和应变量之考量,为确保实验设计的合理性,本研究将降温胁迫实验时长设为 96h。统计值 P 等于 0.05 常被作为农业试验研究中的小概率标准(盖均镒, 2000)。为此,本研究在大样本条件下参照王志铮等(2016a, b)研究方法将经耐寒处理后总体死亡率达 95% 以上的死亡个体(A、B、C、D 实验群体)统归为耐寒处理淘汰群,而将实验终了时刻依然存活的 E 实验群体定义为耐寒处理选留群,以确保所得实验测定样本的可靠性。研究发现,温变是引起虾类大量死亡的重要诱因,虾类成活率随水温变幅的增大而呈显著下降趋势(江敏等, 2002; 贾旭颖等, 2013; 杨世平等, 2015),且虾类在低温条件下往往较高温条件下具更强的抗应激能力(王天神等, 2012)。因此,尽可能地降低耐寒胁迫前的实验初始水温,以切实降低水温骤降幅度和由此引发的应激反应,无疑对提高实验结果的稳定性具有重要作用。故,鉴于日本囊对虾仔虾耐低温能力显著弱于耐高温能力(江敏等, 2002),以及日本囊对虾仔虾放流的底限水温为 16°C (李润寅等, 2001)之考量,本研究将降温处理前实验初始水温设为 16°C。

3.2 形态比例特征与耐寒性能间的相关性分析

经主成分分析和判别分析,尽管 PC_1 的方差贡献率达 58.756%,其主要影响变量个数占比高达 63.64%,均远大于其他主成分之和(表 4),且判别变量 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 测定值均呈 $B>C>D>E>A$ ($P<0.05$) (表 2),但在 FAC_1 得分轴上两相邻耐寒性能测定群体间却仍存在较大程度的重叠(图 2),且耐寒选留群和淘汰群尚分别存在 1%和 11.25%的个体被误判(表 2、表 6、图 2),上述结果既反映了本研究所涉不同耐寒性能仔虾群体间在形态表型适应上所具的梯级连续变化特征,也揭示了日本囊对虾仔虾在耐寒性能上的间断性与

相邻实验群体间在形态表型变化上的连续性的辩证统一。上述情形,与不同耐干露性能和不同抗流性能日本囊对虾秋繁同生群仔虾群体间的表型分型情形均极为类似(王志铮等, 2016a, b),从而进一步验证了日本囊对虾形态比例特征与其抗逆性能间存在的强相关性,以及日本囊对虾仔虾在抗逆性能上的强区分度与其形态比例特征梯度变化间的对立与统一。

3.3 基于耐寒、耐干露及抗流性能间判别变量组合差异的探讨

干露、水流以及降温均属物理胁迫因子。类比日本囊对虾耐干露性能和抗流性能表型的判别变量组合(表 7)可知,尽管三者的判别变量均仅为 4 个,综合判别准确率也均较接近,但从判别变量的组成来看,耐寒性能与抗流性能间的共有判别变量为 C_1 和 C_3 ,耐寒性能与耐干露性能间的共有判别变量仅为 C_4 ,而抗流性能与耐干露性能间则无共有判别变量;从构成判别变量的形态性状组成来看,抗流性能判别变量所涉及的 6 个形态性状包含了耐寒性能判别变量所涉及的全部形态性状,而耐干露性能判别变量所涉及的 6 个形态性状中,与抗流性能和耐寒性能重合的则均仅为总长和头胸甲长,表明日本囊对虾仔虾在耐寒性能和抗流性能的表型分型上较耐干露性能更具生理生态相似性。据报道,日本囊对虾仔虾在抗流性能上存在“高能耗速生型”和“低能耗慢长型”两种不同的运动能量代谢机制及相应的形态分型特征(王志铮等, 2016a),故由本研究中仔虾 X_1 (总长)呈 $A>E>D>C>B$ (表 1),而判别变量 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 测定值则均呈 $B>C>D>E>A$ ($P<0.05$) (表 2)的结果可知,生长速度过快的高能耗仔虾群体和生长速度过慢的低能耗仔虾群体对水温骤降均具较弱的耐受性,而生长速度相对较快的高能耗仔虾群体则具较强的耐受性。另有研究发现,日本囊对虾仔虾对水温骤降需经历一定时长的适应过程(江敏等, 2002)。由此,本文作者认为造成水温骤降下生长速度过快的高能耗仔虾群体和生长速度过慢的低能耗仔虾群体更易于出现夭折的原因,在于两者均因不堪承受短期体能大量损耗引起机体代谢机制严重受阻所致。

表 7 日本囊对虾不同抗逆性能群体关键表型判别变量组合的异同

Tab.7 The differences of discrimination variable combinations of key morphological traits on different stress-resistance groups

胁迫类型	判别变量组合			综合判别率(%)	文献
	变量个数(ind)	变量名称	变量代码		
耐寒	4	第一触角柄长/总长	C ₁	93.88	本案
		额剑长/总长	C ₂		
		眼径/总长	C ₃		
		头胸甲长/总长	C ₄		
抗流	4	第一触角柄长/总长	C ₁	90.12	王志铮等, 2016a
		眼径/总长	C ₃		
		第三腹节长/总长	C ₇		
		额剑长/头胸甲长	C ₁₃		
耐干露	4	头胸甲长/总长	C ₄	91.00	王志铮等, 2016b
		尾扇长/总长	C ₁₁		
		头胸甲高/头胸甲长	C ₁₅		
		腹节高/第一腹节长	C ₁₆		

据报道, 甲壳动物其代谢速率仅在适温范围内与所处环境水温呈正相关(林小涛等, 1999; González *et al.*, 2010; Smith *et al.*, 2013), 参与机体代谢的主要能源物质间的配比水平会随环境水温的变化而发生相应的改变(Sánchez *et al.*, 2001; García-Guerrero *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2007); 甲壳动物的耐干露能力主要取决于其机体的保水能力和抗低氧胁迫能力, 处于干露状态的甲壳动物需经受体内渗透压受扰、呼吸机制受阻和免疫功能受损等一系列削弱其代谢能力的生理反应(Madenjian *et al.*, 1987; Omori *et al.*, 1998; Haupt *et al.*, 2006; Carlson *et al.*, 2009; Allen *et al.*, 2012); 水生动物处于顶流状态时会显著提高耗氧率并增加机体能耗(Steven *et al.*, 1982; Wardle *et al.*, 1996; Herskin *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2003)。由此, 可进一步说明引起日本囊对虾仔虾在耐寒性能和抗流性能判别变量组成和构成判别变量的形态性状组成上较耐干露性能更具相似性的原因, 是缘于日本囊对虾仔虾在耐受降温和水流胁迫上较耐干露胁迫具更为接近的生理调节机制所致。至于, 造成不同抗寒性能仔虾群体间在表型分型上较抗流性能仔虾群体更为清晰的原因(表 2), 则应与构成抗流性能判别变量的形态性状中较抗寒性能增加了第三腹节长的结果(表 7)有关, 即仔虾群体抗流性能与其腹部运动能力的相关性较耐寒性能更密切。

4 结论

日本囊对虾仔虾的形态比例特征与其耐寒性能

间存在的强相关性, 基于形态比例特征均值的欧氏距离均有随耐寒性能差异的增大而呈显著增大的趋势($P < 0.01$), 且可采用形态比例判别变量 C₁(第一触角柄长/总长)、C₂(额剑长/总长)、C₃(眼径/总长)、C₄(头胸甲长/总长)来区分同生群内的不同耐寒性能群体。日本囊对虾仔虾同生群内不同耐寒性能群体间在形态比例特征差异上具较明显的梯级连续变化特征, 即存在着耐寒性能间断性与形态比例特征连续性间的辩证统一。

参 考 文 献

- 王天神, 周 鑫, 赵朝阳等, 2012. 不同温度条件下克氏原螯虾免疫酶活性变化. 江苏农业科学, 40(12): 239—241
- 王志铮, 朱海军, 任夙芝等, 2016a. 日本囊对虾 (*Marsupenaeus japonicus*) 秋繁仔虾形态表型与抗流性能间的相关性. 海洋与湖沼, 47(2): 360—368
- 王志铮, 祝本强, 任夙芝等, 2016b. 日本囊对虾 (*Marsupenaeus japonicus*) 秋繁同生群仔虾不同耐干露性能群体间的形态表型差异. 海洋与湖沼, 47(3): 673—680
- 刘 莉, 李 成, 李乃兵等, 2006. 不同水温条件下中华蟾蜍蝌蚪的表型可塑性研究. 四川动物, 25(2): 214—217
- 江 敏, 臧维玲, 2002. 温度对日本对虾幼虾生长与耗氧的影响. 渔业现代化, (3): 14—16
- 李 博, 2000. 生态学. 北京: 高等教育出版社, 27
- 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
- 李润寅, 陈介康, 姜洪亮等, 2001. 日本对虾仔虾的温度适宜性实验研究. 水产科学, 20(3): 17—18
- 杨世平, 孙成波, 吴颖豪等, 2015. 墨吉明对虾幼虾对盐度和温度的适应性研究. 大连海洋大学学报, 30(3): 261—265
- 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
- 林小涛, 梁旭方, 吴杰等, 1999. 温度对罗氏沼虾亲虾代谢的影响. 生态学杂志, 18(3): 15—18, 9
- 贾旭颖, 王芳, 王春生等, 2013. 温度突变和非离子氨对海水和淡水养殖条件下凡纳滨对虾存活的影响. 中国海洋大学学报, 43(10): 33—40
- 盖均镒, 2000. 试验统计方法. 北京: 中国农业出版社, 49
- Allen B J, Rodgers B, Tuan Y H *et al*, 2012. Size-dependent temperature and desiccation constraints on performance capacity: implications for sexual selection in a fiddler crab. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 438: 93—99
- Carlson B E, Rowe M P, 2009. Temperature and desiccation effects on the antipredator behavior of *Centruroides vittatus* (Scorpiones: Buthidae). *Journal of Arachnology*, 37(3): 321—330
- García-Guerrero M, Villarreal H, Racotta I S, 2003. Effect of temperature on lipids, proteins, and carbohydrates levels during development from egg extrusion to juvenile stage of *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 135(1): 147—154
- González R A, Díaz F, Licea A *et al*, 2010. Thermal preference, tolerance and oxygen consumption of adult white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) exposed to different acclimation temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 35(5): 218—224
- Haupt P, Brouwer S L, Branch G M *et al*, 2006. Effects of exposure to air on the escape behaviour and haemolymph chemistry of the South African Cape lobster, *Jasus lalandii*. *Fisheries Research*, 81(2—3): 210—218
- Herskin J, Steffensen J F, 1998. Energy savings in sea bass swimming in a school: measurements of tail beat frequency and oxygen consumption at different swimming speeds. *Journal of Fish Biology*, 53(2): 366—376
- Lee C G, Devlin R H, Farrell A P, 2003. Swimming performance, oxygen consumption and excess post-exercise oxygen consumption in adult transgenic and ocean-ranched coho salmon. *Journal of Fish Biology*, 62(4): 753—766
- Madenjian C P, Rogers G L, Fast A W, 1987. Predicting night time dissolved oxygen loss in prawn ponds of Hawaii: Part . Evaluation of traditional methods. *Aquacultural Engineering*, 6(3): 191—208
- Omori K, Irawan B, Kikutani Y, 1998. Studies on the salinity and desiccation tolerances of *Helice tridens* and *Helice japonica* (Decapoda: Grapsidae). *Hydrobiologia*, 386(1—3): 27—36
- Sánchez A, Pascual C, Sanchez A *et al*, 2001. Hemolymph metabolic variables and immune response in *Litopenaeus setiferus* adult males: the effect of acclimation. *Aquaculture*, 198(1—2): 13—28
- Smith F, Brown A, Mestre N C *et al*, 2013. Thermal adaptations in deep-sea hydrothermal vent and shallow-water shrimp. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 92: 234—239
- Stevens D E, Dizon A E, 1982. Energetics of locomotion in warm-bodied fish. *Annual Review of Physiology*, 44: 121—131
- Tsoi K H, Chan T 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
- Tsoi 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
- Wang G Z, Kong X H, Wang K J *et al*, 2007. Variation of specific proteins, mitochondria and fatty acid composition in gill of *Scylla serrate* (Crustacea, Decapoda) under low temperature adaptation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 352(1): 129—138
- Wardle C S, Soofiani N M, O'Neill F G, 1996. Measurements of aerobic metabolism of a school of horse mackerel at different swimming speeds. *Journal of Fish Biology*, 49(5): 854—862

DIFFERENCES OF MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AMONG DIFFERENT COLD-TOLERANCE GROUPS OF AUTUMN PROPAGATION POST LARVA COHORT OF *MARSUPENAEUS JAPONICUS*

WANG Zhi-Zheng¹, ZHANG Xiao-Xia¹, REN Su-Yi¹, JIANG Hong-Lei², LIU Wei-Jian², Donatha Kajuna¹, Msumenji Phiri¹

(1. Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Marine and Fishery Research Institute of Ningbo, Ningbo 315103, China)

Abstract We selected the autumn propagation post larva of *Marsupenaesus japonicus* as experimental subjects with an average initial length of 7.643 ± 0.639 mm. After confirming that the final survival rate was slightly lower than 5% when the water temperature was suddenly changed from 16°C to 14°C and maintained constant temperature of 96h, which took this as the processing method of suddenly lowering water temperature stress. In this study, the A, B, C, D and E experimental groups were studied quantitatively by microscopic scanning pixel measurement technique and multivariate analysis method, and these groups respectively represent different deaths groups at the time intervals of (0—24)h, (24—48)h, (48—72)h, (72—96)h, and the differences in morphological characteristics of surviving individuals between groups after 96h. The results showed that: (1) There was no significant difference in the 15 morphological characteristics ($P > 0.05$) in the experimental groups, except the first antenna length, rostrum length and eye diameter; There was no significant difference in the 17 morphology ratio indexes ($P > 0.05$), except telson height/telson length. (2) The Euclidean distance between the experimental groups increased significantly with the increase of cold-tolerance, and reached the extremely significant level ($P < 0.01$). (3) Principal component analysis showed four main components whose eigenvalue was greater than 1, and the cumulative contribution rate of 89.590%. The main influencing variables whose absolute value was more than 0.80 were only in the first principal component. (4) The experiment groups of A, B, C and D were classified as cold-tolerance elimination group. The E group was defined as the cold-tolerance retention group. The progressive discrimination method was used to establish the fisher classification function equation groups, which could distinguish clearly from elimination group and retention group. The discrimination accuracy of retention group P_1 and P_2 were 99% and 89.80% respectively. The discrimination accuracy of elimination group P_1 and P_2 were 88.75% and 98.88% respectively, the integrative discrimination accuracy being 93.88%.

Key words *Marsupenaesus japonicus*; autumn propagation post larva cohort; morphological characteristics; cold-tolerance; multivariate analysis