

# 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\*

王志铮<sup>1</sup> 祝本强<sup>1</sup> 任夙芝<sup>1</sup> 朱海军<sup>1</sup> 沈伟良<sup>2</sup>

(1. 浙江海洋大学 舟山 316022; 2. 宁波市海洋与渔业研究院 宁波 315000)

**摘要** 于水温(18.0±1.0)°C、盐度 20、pH 8.1±0.2 条件下,以日本囊对虾秋繁同生群仔虾[总长(7.643±0.639)mm]为实验对象,以离水干露为胁迫因子,在确认其离水干露 160min 内的复水成活率为 100%和离水干露 240min 时的复水存活率略低于 5%后,借助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(依次为干露处理 160—180、180—200、200—220、220—240min 时段内的死亡群体和干露处理 240min 时的存活群体)间形态表型特征的差异。结果表明:(1)在所涉 15 项形态性状中,各实验群体间均无显著差异( $P>0.05$ )的性状多达 10 项,依次为第一触角柄长、额剑长、眼径、第一腹节长、第二腹节长、第三腹节长、第四腹节长、第五腹节长、尾节长和尾节高;(2)在所涉 17 项形态比例指标中,各实验群体间均无显著差异( $P>0.05$ )的指标仅为 3 项,依次为头胸甲长/总长、头胸甲高/头胸甲长和尾节高/尾节长,群体间的欧氏距离均达到极显著水平( $P<0.01$ ),且有随耐干露性能差异的增大而呈显著增大的趋势;(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 91.018%,其中第 1 主成分的贡献率高达 57.974%,其载荷绝对值大于 0.5 的主要变量占形态比例指标总数的 64.706%;(4)将 A、B、C、D 实验群体统归为干露处理淘汰群,E 实验群体定义为干露处理选留群。采用逐步判别法,所建的 Fisher 分类函数方程组可较清晰地区分淘汰群和选留群个体,其中选留群个体的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 100%和 84.75%,淘汰群个体的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 82%和 100%,两者综合判别准确率为 91%。

**关键词** 日本囊对虾;仔虾;形态表型;干露胁迫;多元分析

中图分类号 S968 doi: 10.11693/hyhz20160200032

处于离水干露(Desiccation)状态的甲壳动物需持续经受失水和低氧的双重胁迫。干露不仅会扰乱甲壳动物的体内渗透压,削弱其代谢能力(Haupt *et al.*, 2006; Carlson *et al.*, 2009),而且还会降低其血液中血红蛋白与氧的结合能力造成低氧胁迫(Omori *et al.*, 1998; Allen *et al.*, 2012),从而阻碍其呼吸机制并损害机体正常的免疫功能,最终导致其死亡(Madenjian *et al.*, 1987; 管越强等, 2010)。已有研究也表明,甲壳动物耐干露能力的强弱与其机体抗氧化酶系统的活性高低直接相关(姜娜等, 2014; 段亚飞等, 2015),亲体

均源自连云港的 3 个三疣梭子蟹家系在耐干露能力及受干露胁迫下的血淋巴免疫因子活性也均存在较为明显的差异(陈百尧等, 2013)。因此,甲壳动物的耐干露性能可作为表征其抗逆能力的重要指标和评价其苗种质量优劣的重要依据。

进化生物学认为,物种表型多样性的产生并维持源自不同的自然选择机制,它既可能是对基因型的选择结果,也可能是在可塑性范围内对特定环境的形态修饰(Robinson *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 1996; Orr *et al.*, 1998; Schluter, 2000)。据报道,分布于大连

\* 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)”;舟山市科技计划项目, 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”。王志铮, 教授/研究员, E-mail: wzz\_1225@163.com

收稿日期: 2016-02-09, 收修改稿日期: 2016-02-29

黑石礁、莱州湾、海州湾和象山海区的 4 个日本囊对虾地理群体不仅在形态比例参数上具较好的区分度(丁金强等, 2012), 而且它们在免疫水平上也均存在较为明显的差异(丁金强等, 2013), 分布于海州湾、辽东湾、舟山沿海和莱州湾 4 个三疣梭子蟹野生群体间在形态比例参数和免疫相关酶活力上也均存在较为明显的差异(高保全等, 2007; 陈萍等, 2008)。无疑, 甲壳动物的抗逆性能与其表型适应存在较为密切的关联, 这不仅为从表型水平划分目标甲壳动物的抗逆等级提供了重要线索, 而且也为开展基于目标甲壳动物不同抗逆等级的群体分型研究提供了重要启示。但迄今国内外尚未见有关目标甲壳动物不同耐干露性能群体间表型分型的研究报道。鉴于此, 本文作者于 2014 年 10 月以日本囊对虾(*Marsupenaues japonicus*)秋繁同生群仔虾为研究对象, 借助聚类分析、主成分分析和判别分析方法, 较系统开展了不同耐干露性能群体间的表型差异研究, 旨在为该虾秋繁同生群仔虾耐干露性能评价方法的构建和逆境生态学研究提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物

实验用日本囊对虾仔虾[总长(7.643±0.639)mm]

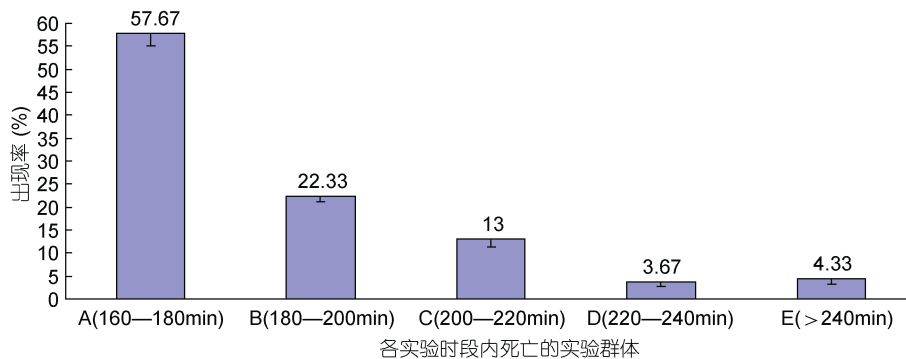


图 1 日本囊对虾秋繁仔虾不同耐干露性能群体的出现率

Fig.1 The mortality of post larva *Marsupenaues japonicus* in different desiccation resistant ability

### 1.3 数据处理

借助 SPSS 17.0 软件, 分别计算本研究涉 5 个不同耐干露性能实验群体的各项形态学测定指标和形态比例指标的均值与标准差, 并采用 LSD 多重比较法检验组间差异显著性( $P < 0.05$  视为显著水平,  $P < 0.01$  视为极显著水平, 下同); 根据上述 5 个实验群体各项形态比例指标的均值, 计算它们之间经标准化处理的欧氏距离(全距为 1.00), 并以此度量它们

由宁波市海洋与渔业研究院提供, 运回浙江海洋大学水产安全养殖实验室后, 即刻置于若干规格为 60cm×80cm×60cm 的小型实验水槽内, 于水温(18.0±1.0) °C、盐度 20、pH 8.1±0.2 条件下静水停饲暂养 24h 后备用。

### 1.2 实验方法

经预实验发现, 实验用仔虾离水干露 160min 内的复水成活率为 100%, 而离水干露 240min 时的复水存活率则略低于 5% (图 1)。据此, 将干露胁迫依次设置为 I (160—180min)、II (180—200min)、III (200—220min) 和 IV (220—240min) 四个实验时段。随机选取 3000 尾仔虾, 均匀分置于 30 个容积为 2L 的圆底塑料盆(实验实际容积 1L)内, 将上述 4 个实验时段内经干露处理的死亡仔虾和干露处理 240 min 时的存活仔虾依次定义为 A、B、C、D、E 实验群体, 每个群体随机选取 100 尾作为其测量样本, 借助 LECIA S8APO 型研究体视镜并采用扫描像素法(杨劲峰等, 2002), 依次测量各实验样本的总长( $X_1$ 、额角前缘至尾节末端的直线长度)、第一触角柄长( $X_2$ )、额剑长( $X_3$ )、眼径( $X_4$ )、头胸甲长( $X_5$ )、头胸甲高( $X_6$ )、第一腹节长( $X_7$ )、第二腹节长( $X_8$ )、第三腹节长( $X_9$ )、第四腹节长( $X_{10}$ )、第五腹节长( $X_{11}$ )、尾节长( $X_{12}$ )、尾扇长( $X_{13}$ )、腹节高( $X_{14}$ )和尾节高( $X_{15}$ )。

在形态比例特征上的相似性程度; 根据所有实验样本的形态比例指标值进行主成分分析, 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; 将 A、B、C、D 实验群体统归为干露处理淘汰群, E 实验群体定义为干露处理选留群。采用逐步导入剔除法对干露处理淘汰群和选留群进行判别分析, 并参考 Li 等(2005)的方法在等样本容量水平下计算判别准确率并验证所建判别方程组的可靠性。

## 2 结果

### 2.1 各实验群体形态性状测量值和形态比例指标值的差异比较

由表 1 可见, 本研究所涉 5 个不同耐干露性能实验群体在所测 15 项形态性状中, 除  $X_1$ 、 $X_5$  呈  $E \approx D > C > B > A$ ,  $X_6$  呈  $E > D > C > B > A$  ( $P < 0.05$ ), 以及  $X_{13}$ 、 $X_{14}$  均呈  $A > B > C > D > E$  ( $P < 0.05$ ) 外, 其余 10 项形态性状测量指标值均无组间差异( $P > 0.05$ ); 由表 2 可见, 在所涉

17 项形态比例指标中,  $C_1$ 、 $C_3$ 、 $C_5$ 、 $C_6$ 、 $C_7$ 、 $C_8$ 、 $C_9$  和  $C_{10}$  等 8 项指标均呈  $A > B > C > D \approx E$ ,  $C_2$ 、 $C_{11}$ 、 $C_{12}$  和  $C_{16}$  等 4 项指标均呈  $A > B > C > D > E$  ( $P < 0.05$ ),  $C_{13}$  呈  $A \approx B > C > D > E$ ,  $C_{14}$  仅 A、E 间具显著差异( $P < 0.05$ ), 组间均无差异( $P > 0.05$ )的仅为  $C_4$ 、 $C_{15}$  和  $C_{17}$ 。由此可见, 不同耐干露性能实验仔虾群体间已出现较为显著的形态表型分化, 形态比例在表征实验仔虾耐干露性能的差异上较形态性状更具丰盛度和有序性。

表 1 实验群体形态性状测量值的参数统计( $n=100$ )

Tab.1 The parameter statistics of morphological measurement indexes for all tested groups

性状(mm)	代码	A(M±SE)	B(M±SE)	C(M±SE)	D(M±SE)	E(M±SE)
总长	$X_1$	7.061±0.459 <sup>a</sup>	7.246±0.463 <sup>b</sup>	7.42±0.486 <sup>c</sup>	7.568±0.442 <sup>d</sup>	7.602±0.529 <sup>d</sup>
第一触角柄长	$X_2$	1.024±0.027 <sup>a</sup>	1.026±0.028 <sup>a</sup>	1.026±0.029 <sup>a</sup>	1.027±0.031 <sup>a</sup>	1.022±0.029 <sup>a</sup>
额剑长	$X_3$	1.385±0.123 <sup>a</sup>	1.393±0.114 <sup>a</sup>	1.395±0.120 <sup>a</sup>	1.398±0.133 <sup>a</sup>	1.378±0.116 <sup>a</sup>
眼径	$X_4$	0.307±0.009 <sup>a</sup>	0.308±0.009 <sup>a</sup>	0.308±0.009 <sup>a</sup>	0.308±0.009 <sup>a</sup>	0.307±0.009 <sup>a</sup>
头胸甲长	$X_5$	2.615±0.157 <sup>a</sup>	2.663±0.169 <sup>b</sup>	2.716±0.164 <sup>c</sup>	2.770±0.170 <sup>d</sup>	2.799±0.183 <sup>d</sup>
头胸甲高	$X_6$	0.913±0.027 <sup>a</sup>	0.936±0.027 <sup>b</sup>	0.957±0.027 <sup>c</sup>	0.976±0.032 <sup>d</sup>	0.991±0.030 <sup>c</sup>
第一腹节长	$X_7$	0.431±0.013 <sup>a</sup>	0.431±0.012 <sup>a</sup>	0.431±0.012 <sup>a</sup>	0.433±0.012 <sup>a</sup>	0.431±0.013 <sup>a</sup>
第二腹节长	$X_8$	0.386±0.012 <sup>a</sup>	0.385±0.011 <sup>a</sup>	0.385±0.012 <sup>a</sup>	0.387±0.011 <sup>a</sup>	0.384±0.010 <sup>a</sup>
第三腹节长	$X_9$	0.439±0.013 <sup>a</sup>	0.441±0.013 <sup>a</sup>	0.440±0.012 <sup>a</sup>	0.442±0.013 <sup>a</sup>	0.439±0.014 <sup>a</sup>
第四腹节长	$X_{10}$	0.364±0.010 <sup>a</sup>	0.364±0.010 <sup>a</sup>	0.364±0.011 <sup>a</sup>	0.365±0.011 <sup>a</sup>	0.363±0.011 <sup>a</sup>
第五腹节长	$X_{11}$	1.637±0.046 <sup>a</sup>	1.644±0.050 <sup>a</sup>	1.642±0.043 <sup>a</sup>	1.643±0.048 <sup>a</sup>	1.635±0.046 <sup>a</sup>
尾节长	$X_{12}$	0.837±0.023 <sup>a</sup>	0.839±0.025 <sup>a</sup>	0.839±0.024 <sup>a</sup>	0.840±0.023 <sup>a</sup>	0.836±0.022 <sup>a</sup>
尾扇长	$X_{13}$	1.210±0.033 <sup>a</sup>	1.190±0.034 <sup>b</sup>	1.170±0.034 <sup>c</sup>	1.142±0.033 <sup>d</sup>	1.114±0.035 <sup>c</sup>
腹节高	$X_{14}$	0.757±0.023 <sup>a</sup>	0.744±0.025 <sup>b</sup>	0.730±0.021 <sup>c</sup>	0.716±0.022 <sup>d</sup>	0.698±0.020 <sup>c</sup>
尾节高	$X_{15}$	0.214±0.006 <sup>a</sup>	0.215±0.006 <sup>a</sup>	0.215±0.006 <sup>a</sup>	0.215±0.007 <sup>a</sup>	0.214±0.006 <sup>a</sup>

①A: 干露处理 160—180min 内的死亡群体; B: 干露处理 180—200min 内的死亡群体; C: 干露处理 200—220min 内的死亡群体; D: 干露处理 220—240min 内的死亡群体; E: 干露处理 240min 时的存活群体; ②同一行上标不同小写字母表示具组间差异显著( $P < 0.05$ )。下同

表 2 实验群体形态比例特征间的差异( $n=100$ )

Tab.2 The differences of morphological proportion traits for all tested groups

表型比例指标	代码	A(M±SE)	B(M±SE)	C(M±SE)	D(M±SE)	E(M±SE)
第一触角柄长/总长	$C_1$	0.145±0.007 <sup>a</sup>	0.142±0.007 <sup>b</sup>	0.139±0.007 <sup>c</sup>	0.136±0.006 <sup>d</sup>	0.135±0.007 <sup>d</sup>
额剑长/总长	$C_2$	0.196±0.011 <sup>a</sup>	0.192±0.01 <sup>b</sup>	0.188±0.011 <sup>c</sup>	0.185±0.012 <sup>d</sup>	0.181±0.011 <sup>e</sup>
眼径/总长	$C_3$	0.044±0.002 <sup>a</sup>	0.043±0.002 <sup>b</sup>	0.042±0.002 <sup>c</sup>	0.041±0.002 <sup>d</sup>	0.041±0.002 <sup>d</sup>
头胸甲长/总长	$C_4$	0.371±0.018 <sup>a</sup>	0.368±0.015 <sup>a</sup>	0.367±0.017 <sup>a</sup>	0.366±0.016 <sup>a</sup>	0.369±0.016 <sup>a</sup>
第一腹节长/总长	$C_5$	0.061±0.003 <sup>a</sup>	0.060±0.003 <sup>b</sup>	0.058±0.003 <sup>c</sup>	0.057±0.002 <sup>d</sup>	0.057±0.003 <sup>d</sup>
第二腹节长/总长	$C_6$	0.055±0.003 <sup>a</sup>	0.053±0.003 <sup>b</sup>	0.052±0.002 <sup>c</sup>	0.051±0.002 <sup>d</sup>	0.051±0.003 <sup>d</sup>
第三腹节长/总长	$C_7$	0.062±0.003 <sup>a</sup>	0.061±0.003 <sup>b</sup>	0.059±0.003 <sup>c</sup>	0.059±0.003 <sup>d</sup>	0.058±0.003 <sup>d</sup>
第四腹节长/总长	$C_8$	0.052±0.003 <sup>a</sup>	0.050±0.002 <sup>b</sup>	0.049±0.002 <sup>c</sup>	0.048±0.002 <sup>d</sup>	0.048±0.002 <sup>d</sup>
第五腹节长/总长	$C_9$	0.233±0.011 <sup>a</sup>	0.228±0.010 <sup>b</sup>	0.222±0.011 <sup>c</sup>	0.218±0.009 <sup>d</sup>	0.216±0.012 <sup>d</sup>
尾节长/总长	$C_{10}$	0.119±0.006 <sup>a</sup>	0.116±0.005 <sup>b</sup>	0.113±0.006 <sup>c</sup>	0.111±0.005 <sup>d</sup>	0.110±0.006 <sup>d</sup>
尾扇长/总长	$C_{11}$	0.172±0.008 <sup>a</sup>	0.165±0.008 <sup>b</sup>	0.158±0.008 <sup>c</sup>	0.151±0.006 <sup>d</sup>	0.147±0.008 <sup>e</sup>
第一触角柄长/头胸甲长	$C_{12}$	0.393±0.017 <sup>a</sup>	0.386±0.019 <sup>b</sup>	0.379±0.017 <sup>c</sup>	0.372±0.017 <sup>d</sup>	0.366±0.018 <sup>e</sup>
额剑长/头胸甲长	$C_{13}$	0.530±0.031 <sup>a</sup>	0.523±0.027 <sup>a</sup>	0.514±0.030 <sup>b</sup>	0.504±0.034 <sup>c</sup>	0.492±0.028 <sup>d</sup>
眼径/头胸甲长	$C_{14}$	0.118±0.005 <sup>a</sup>	0.116±0.005 <sup>ab</sup>	0.114±0.005 <sup>ab</sup>	0.111±0.005 <sup>ab</sup>	0.110±0.005 <sup>b</sup>
头胸甲高/头胸甲长	$C_{15}$	0.350±0.015 <sup>a</sup>	0.352±0.017 <sup>a</sup>	0.353±0.016 <sup>a</sup>	0.353±0.015 <sup>a</sup>	0.355±0.017 <sup>a</sup>
腹节高/第一腹节长	$C_{16}$	1.759±0.035 <sup>a</sup>	1.727±0.034 <sup>b</sup>	1.692±0.035 <sup>c</sup>	1.655±0.035 <sup>d</sup>	1.620±0.032 <sup>e</sup>
尾节高/尾节长	$C_{17}$	0.256±0.005 <sup>a</sup>	0.256±0.006 <sup>a</sup>	0.256±0.005 <sup>a</sup>	0.257±0.005 <sup>a</sup>	0.256±0.005 <sup>a</sup>

## 2.2 各实验群体形态比例特征间的相似程度比较

根据本研究所涉 5 个不同耐干露性能实验群体各项形态比例指标的均值(表 2), 分别计算它们之间的欧氏距离(表 3)。由表 3 可见, 各实验群体间的欧氏距离均达到极显著水平( $P < 0.01$ ), 且均有随实验群体间耐干露性能差异的增大而呈显著增大的趋势, 这既进一步印证了不同耐干露性能实验群体间已表露形态表型分型的事实, 也进一步表明可用形态比例指标来表征各实验群体间耐干露性能的差异。

## 2.3 实验测定对象形态比例特征的主成分分析

经 Bartlett 球形检验和 KMO 适合度检验发现, 本

研究所涉实验仔虾形态比例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( $KMO = 0.833 > 0.700$ ), 故有进一步作主成分分析的必要。

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

实验群体	A	B	C	D
B	1.377	—		
C	2.539	1.248	—	
D	3.598	2.390	1.414	—
E	3.894	2.715	1.604	1.394

表 4 实验群体形态比例特征的主成分分析

Tab.4 The principal component analysis of morphological proportion traits for all tested groups

表型比例指标	代码	载荷			
		PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>	PC <sub>4</sub>
第一触角柄长/总长	C <sub>1</sub>	0.967*	-0.083	-0.079	0.007
额剑长/总长	C <sub>2</sub>	0.385	-0.231	0.820*	-0.072
眼径/总长	C <sub>3</sub>	0.967*	-0.090	-0.068	0.045
头胸甲长/总长	C <sub>4</sub>	0.380	-0.909*	-0.055	0.002
第一腹节长/总长	C <sub>5</sub>	0.951*	-0.130	-0.115	0.039
第二腹节长/总长	C <sub>6</sub>	0.959*	-0.109	-0.078	0.023
第三腹节长/总长	C <sub>7</sub>	0.955*	-0.123	-0.067	0.044
第四腹节长/总长	C <sub>8</sub>	0.960*	-0.103	-0.057	0.035
第五腹节长/总长	C <sub>9</sub>	0.959*	-0.113	-0.070	0.017
尾节长/总长	C <sub>10</sub>	0.959*	-0.111	-0.096	-0.155
尾扇长/总长	C <sub>11</sub>	0.937*	-0.065	0.147	0.037
第一触角柄长/头胸甲长	C <sub>12</sub>	0.684*	0.691*	-0.037	0.007
额剑长/头胸甲长	C <sub>13</sub>	0.122	0.403	0.859*	-0.073
眼径/头胸甲长	C <sub>14</sub>	0.679*	0.695*	-0.025	0.045
头胸甲高/头胸甲长	C <sub>15</sub>	0.391	0.738*	-0.354	0.030
腹节高/第一腹节长	C <sub>16</sub>	0.462	0.076	0.562*	-0.006
尾节高/尾节长	C <sub>17</sub>	-0.096	-0.035	0.135	0.984*
特征值		9.856	2.654	1.948	1.015
贡献率(%)		57.974	15.614	11.460	5.970
累计贡献率(%)		57.974	73.588	85.047	91.018

由表 4 可见, 所列 4 个主成分的特征值均大于 1 且方差累计贡献率达 91.018%, 故可基本认定它们为能概括本研究所涉日本囊对虾秋繁同生群仔虾不同耐干露性能实验群体间形态比例特征差异的公共因子。其中, PC<sub>1</sub> 的方差贡献率最大(57.974%)且远高于其它各主成分。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> 所含主要影响变量的个数依次为 11、4、3 和 1, 且载荷绝对值达到

0.90 以上的 11 个主要影响变量中仅 PC<sub>1</sub> 就占到 9 个。无疑, PC<sub>1</sub> 在区分不同耐干露性能实验群体间的形态比例差异上具重要作用。由 PC<sub>1</sub> 与其它各主成分间的得分散布图(图 2)可见, 虽 A、B、C、D、E 实验测定样本沿 FAC1 轴由右向左依次排列, 但它们之间却均存在较大程度的重叠, 表明 PC<sub>1</sub> 在反映本研究所涉全部测定个体的类群归属问题上受到了来自自身及其它主成分所含主要影响变量的干扰。

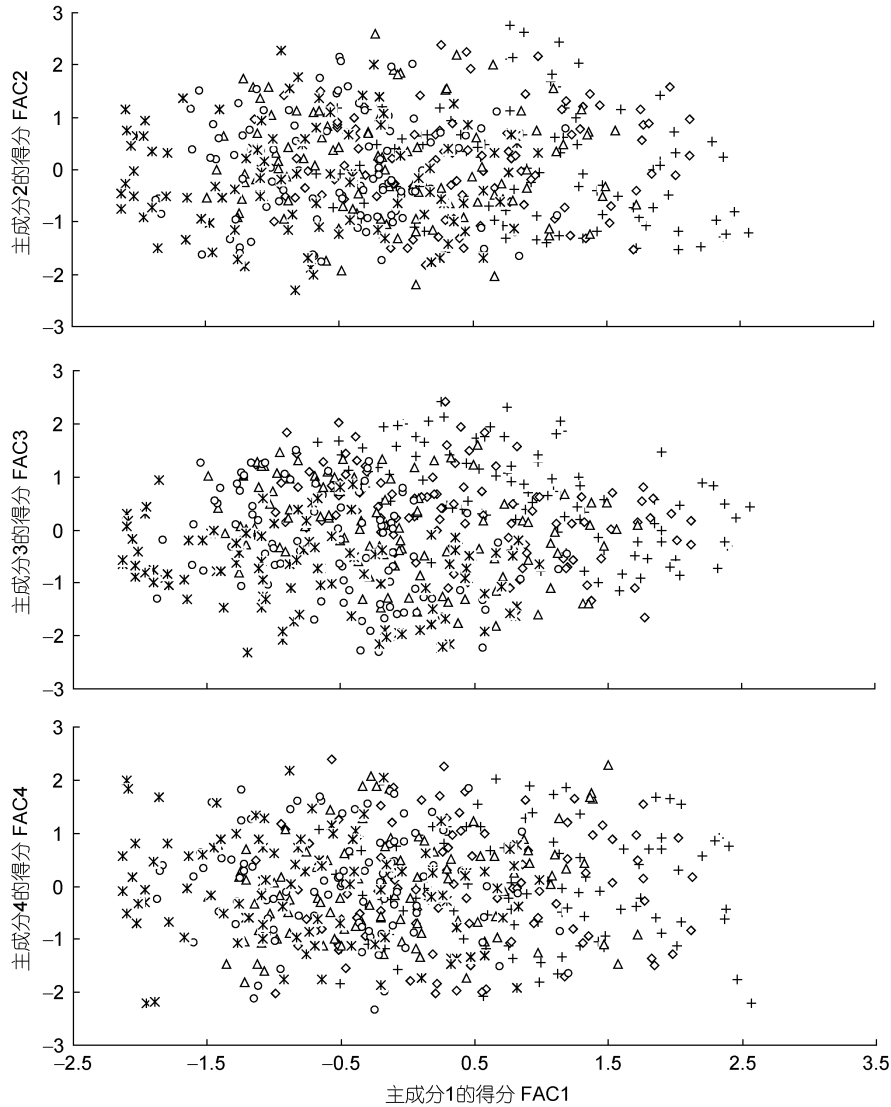


图2 实验测定样本形态比例指标的主成分散布图

Fig.2 The scatter diagram of principal component of morphological proportion traits for all tested groups

①+: A 实验群体; ②◇: B 实验群体; ③△: C 实验群体; ④○: D 实验群体; ⑤\*: E 实验群体

#### 2.4 干露处理淘汰群和选留群实验对象形态比例特征的判别分析

采用逐步导入剔除法, 从表2所列形态表型比例特征变量中筛选出对干露处理淘汰群和选留群实验对象判别贡献较大的  $C_4$ 、 $C_{11}$ 、 $C_{15}$  和  $C_{16}$  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4个变量建立本研究所涉干露处理淘汰群和选留群实验样本的 Fisher 分类函数方程组于表5。经验证, 选留群实验测定样本的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 100% 和 84.75%, 淘汰群实验测定样本的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 82% 和 100%, 综合判别准确率为 91% (表6)。另, 所绘制的典型判别函数判别得分散布图 (图3), 更直观地印证了上述判别结果的准确性。

### 3 讨论

#### 3.1 关于不同耐干露性能实验群体的划分方法

农业试验研究中常将  $P$  值等于 0.05 作为小概率标准 (盖均镒, 2000), 即在大样本水平下可将  $P$  值等于 0.05 视为组间具显著差异水平的临界值。因此, 为在统计学层面获得可有效区分具显著耐干露性能差异的两组日本囊对虾秋繁同生群仔虾实验群体, 本研究在确定实验用仔虾样本总容量为 3000 ind 的基础上, 将经干露处理后总体死亡率达 95% 以上的死亡个体统归为干露处理淘汰群, 而将实验终了时剩余的存活个体定义为干露处理选留群, 以切实响应两者间耐干露能力的显著差异, 保障所得实验结果

表 5 干露处理淘汰群与选留群形态比例特征 Fisher 分类函数方程组自变量系数及常数项  
Tab.5 The independent variable coefficient and constant terms of the Fisher classification functions

群体类型	自变量系数				常数项
	$C_4$	$C_{11}$	$C_{15}$	$C_{16}$	
干露处理淘汰群	6382.134	-9156.898	6273.451	1615.165	-2919.375
干露处理选留群	6494.692	-9386.616	6373.769	1599.859	-2935.396

表 6 干露处理淘汰群和选留群实验样本的判别分类结果  
Tab.6 The discrimination classification for all the tested groups

群体类型	$n(\text{ind.})$	预测分类(ind.)		判别准确率(%)		综合判别率 $P(\%)$
		干露处理选留群	干露处理淘汰群	$P_1$	$P_2$	
干露处理选留群	100	100	0	100.00	84.75	91.00
干露处理淘汰群	400	72	328	82.00	100.00	

① $P_1$ : 某类群实验对象判别正确的个数占该类群实验对象实际个数的百分比; ② $P_2$ : 诸实验类群在等样本容量条件下, 某类群实验对象判别正确的个数占判入该类群实验对象的总个数的百分比; ③ $P$ : 诸实验类群在等样本容量条件下, 各类群实验对象判别正确的个数之和占实验总个数的百分比

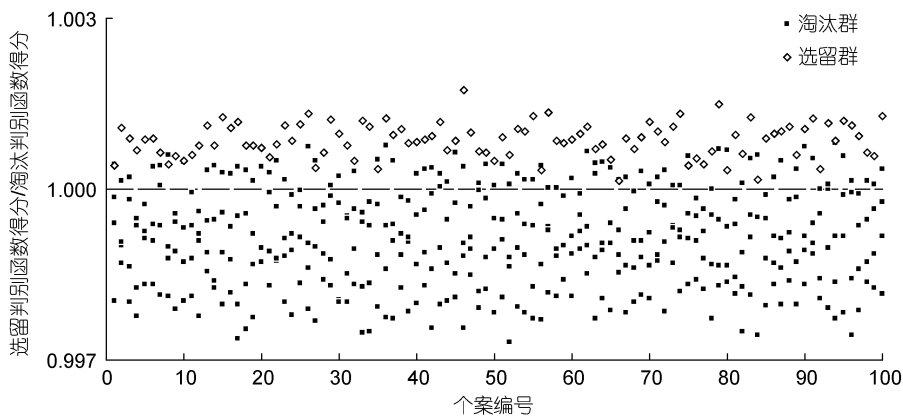


图 3 干露处理淘汰群与选留群实验样本的典型判别函数判别得分散布图

Fig.3 The scatter diagram of the typical discriminant function for all the tested groups

的可靠性。为探究日本囊对虾秋繁同生群仔虾耐干露性能的梯次变化特征, 本研究采取干露处理时间等间距法, 将干露处理淘汰群中的实验样本按干露处理时间序列依次分为 A、B、C、D 实验测定群体, 以期进一步探明不同耐干露性能实验群体间在形态表型上的区分度。

### 3.2 形态比例特征与耐干露性能间的相关性分析

由表 3 可见, 本研究所涉各实验群体间的欧式距离均有随耐干露能力差异增大而呈显著增大的趋势, 表明具不同耐干露性能实验群体在形态比例特征上具较好的区分度, 即本研究所涉形态比例性状可视为综合反映日本囊对虾秋繁同生群仔虾耐干露性能差异的宏观生物学指标。鉴于抽测形态表型具受环境影响小、操作简便可靠和成本低等优点, 建立基于不同耐干露性能评价与等级筛选的群体分型方法, 无疑对于指导日本囊对虾秋繁同生群仔虾的定向选

育并保障其质量安全具重要实践意义。由表 4 可见,  $PC_1$  的主要影响变量个数和方差贡献率均大于其它主成分之和, 但就  $FAC_1$  得分轴上各测定群体间均存在较大程度的重叠(图 2), 及干露处理淘汰群中尚有 18% 的个体被误判(表 6, 图 3)的情形来看, 说明被列入各主成分中的主要影响变量和经判别分析被选入 Fisher 分类函数方程组的诸自变量中共同包含了对区分耐干露性能具高分辨作用和强干扰作用的两类关键变量。结合  $C_{11}$ 、 $C_{16}$  均呈  $A>B>C>D>E$  ( $P<0.05$ ), 以及  $C_4$ 、 $C_{15}$  均呈  $A\approx B\approx C\approx D\approx E$  ( $P>0.05$ ) 的结果(表 2), 可判定上述具高分辨作用的关键变量应为  $C_{11}$  和  $C_{16}$ , 而具强干扰作用的关键变量则应为  $C_4$  和  $C_{15}$ 。

据报道, 鳃系甲壳动物的水-血屏障, 具有呼吸、排泄、渗透压调节及病害防御等功能(周双林等, 2001), 蟹类的露空时间由鳃部的保水能力和机体对低含水量的耐受性决定(Omori *et al.*, 1998), 干露造成的低氧

胁迫会阻碍对虾的代谢能力并最终引起死亡(Madenjian *et al.*, 1987)。因此, 甲壳动物的耐干露性能主要取决于与其鳃室形态结构密切有关的鳃组织抗失水能力和与机体能量代谢密切相关的耐低氧胁迫能力。基于此, 本文作者认为导致  $C_{11}$ 、 $C_{16}$  组合与  $C_4$ 、 $C_{15}$  组合分别成为对区分耐干露性能具高分辨作用和强干扰作用的关键变量的主因为: (1) 虾类头胸甲两侧部分即鳃盖向下延伸形成狭窄而垂直的鳃室(堵南山, 1993), 故头胸甲长和头胸甲高也就共同成了影响虾类胸腔及其鳃室空间几何形态的关键性变量。无疑, 本研究中  $C_4$ 、 $C_{15}$  均呈  $A \approx B \approx C \approx D \approx E$  ( $P > 0.05$ ) 的结果(表 2), 既表明图 2 中不同耐干露性能实验群体间在 FAC1 得分轴上均具较大程度重叠和图 3 中尚有 18% 的淘汰群个体被判入选留群的情形, 是因为它们间均具相似的鳃室空间几何形态, 也揭示了  $C_4$ 、 $C_{15}$  对区分不同耐干露性能实验群体所表露出的强干扰作用, 主缘于它们间均具相近的鳃组织保水性能。(2) 虾体腹部肌肉发达, 主司弯曲运动, 尾扇在保持虾体运动平衡和遇敌急速逃逸方面具重要作用(王克行, 1997)。无疑,  $C_{11}$ (尾扇长/总长)和  $C_{16}$ (腹节高/第一腹节长)可分别表征虾类的避敌应激能力和腹部肌肉粗壮程度。已有研究发现, 虾蟹类呼吸能在其能量收支中占很大比例, 多数种类占摄入能量的 50% 以上(王兴强等, 2005), 虾蟹在低氧时可观察到额舟片拍动频率的加快(Morris *et al.*, 1985)和心输出量的增加(Burnett, 1979), 干露不仅会促进虾蟹对无氧代谢供能的依赖性并引起其肌肉中乳酸含量的显著升高, 而且还能通过影响其部分免疫相关酶的活性及基因表达, 对免疫系统造成损害(姜娜等, 2014; 王琦等, 2013)。由表 2 中  $C_{11}$ 、 $C_{16}$  均呈  $A > B > C > D > E$  ( $P < 0.05$ ) 的结果可知, 本研究所涉各实验群体在表征避敌应激能力和腹部肌肉粗壮程度的差异上均达成一致, 并可按此差异顺序来划分它们间的耐干露性能等级, 表明干露胁迫会导致避敌应激能力和腹部肌肉粗壮程度均过高的仔虾群体因不堪忍受低氧胁迫所需的体能消耗, 导致其自身基础代谢和免疫水平的显著下降而依次被淘汰, 即耐干露能力的差异主要取决于仔虾的体型比例特征及与之相匹配的机体能量分配策略。因此,  $C_{11}$ 、 $C_{16}$  共同成为区分实验群体间耐干露性能的判别变量, 主缘于它们在表征机体能量分配对策上的高分辨率。综上所述,  $C_4$ 、 $C_{15}$  的强干扰作用系不同耐干露群体间具相似的鳃组织空间几何形态所致, 关于两者被选入干露处理淘汰群和选留

群判别关键变量的原因, 则应与本研究所涉诸形态比例指标中, 它们与可用以表征干露性能的鳃组织抗失水性能最为密切有关。至于  $C_{11}$ 、 $C_{16}$  的强分辨作用, 则应与两者在表征受干露胁迫下仔虾间机体能量分配对策差异上所具的高度一致性和强区分度有关。

## 参 考 文 献

- 丁金强, 刘 萍, 李 健等, 2012. 中国沿海日本对虾 4 个地理群体的形态差异比较分析. 中国水产科学, 19(4): 604—610
- 丁金强, 刘 萍, 李 健等, 2013. 不同地理群体日本对虾非特异性免疫及抗氧化酶活力的比较. 水产学报, 37(2): 275—280
- 王 琦, 李 健, 李吉涛等, 2013. 干露胁迫对脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*) HSP70 和 ferritin 基因表达的影响. 海洋与湖沼, 44(2): 409—414
- 王兴强, 马 牲, 董双林, 2005. 虾蟹类生物能量学研究进展. 海洋科学, 29(10): 65—69
- 王克行, 1997. 虾蟹类增殖学. 北京: 中国农业出版社, 8, 18
- 杨劲峰, 陈 清, 韩晓日等, 2002. 数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用. 农业工程学报, 18(4): 155—158
- 陈 萍, 李 健, 李吉涛等, 2008. 不同地理群体三疣梭子蟹非特异性免疫功能的比较. 中国农学通报, 24(11): 496—499
- 陈百尧, 伏光辉, 安 健等, 2013. 干露下三疣梭子蟹家系间血淋巴免疫因子活性差异分析. 上海海洋大学学报, 22(2): 194—199
- 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
- 段亚飞, 董宏标, 王 芸等, 2015. 干露胁迫对日本囊对虾抗氧化酶活性的影响. 南方水产科学, 11(4): 102—108
- 姜 娜, 王 芳, 路允良等, 2014. 干露对三疣梭子蟹抗氧化和应激能力的影响. 水产学报, 38(12): 1996—2004
- 高保全, 刘 萍, 李 健等, 2007. 三疣梭子蟹 4 个野生群体形态差异分析. 中国水产科学, 14(2): 223—228
- 堵南山, 1993. 甲壳动物学. 北京: 科学出版社, 676
- 盖均镛主编, 2000. 试验统计方法. 北京: 中国农业出版社, 49
- 管越强, 李 利, 王慧春等, 2010. 低氧胁迫对日本沼虾呼吸代谢和抗氧化能力的影响. 河北大学学报(自然科学版), 30(3): 301—306
- 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
- Burnett L E, 1979. The effects of environmental oxygen levels on the respiratory function of hemocyanin in the crabs, *Libinia emarginata* and *Ocypode quadrata*. Journal of Experimental Zoology, 210(2): 289—299
- 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

- 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
- Li S F, Wang C H, Cheng Q Q, 2005. Morphological variations and phylogenesis of four strains in *Cyprinus carpio*. *Journal of Fisheries of China*, 29(5): 606—611
- Madenjian C M, Rogers G L, Fast A W, 1987. Predicting night time dissolved oxygen loss in prawn ponds of Hawaii: Part . Evaluation of traditional methods. *Aquaculture Engineering*, 6(3): 191—208
- Morris S, Taylor A C, 1985. The respiratory response of the intertidal prawn *Palaemon elegans* (Rathke) to hypoxia and hyperoxia. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 81(3): 633—639
- 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
- Orr M R, Smith T B, 1998. Ecology and speciation. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(12): 502—506
- Robinson B W, Wilson D S, 1996. Genetic variation and phenotypic plasticity in a tropically polymorphic population of pumpkinseed sun fish (*Lepomis gibbosus*). *Evolutionary Ecology*, 10(6): 631—652
- Schluter D, 2000. *The Ecology of Adaptive Radiation*. Oxford: Oxford University Press
- Smith T B, Skúlason S, 1996. Evolutionary significance of resource Polymorphisms in fishes, amphibians, and birds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27(1): 111—133

## THE EFFECT OF MORPHOLOGICAL TRAITS ON THE SURVIVAL OF THE POST LARVA *MARSPENAEUS JAPONICUS* WHEN EXPOSED TO AIR

WANG Zhi-Zheng<sup>1</sup>, ZHU Ben-Qiang<sup>1</sup>, REN Su-Yi<sup>1</sup>, ZHU Hai-Jun<sup>1</sup>, SHEN Wei-Liang<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Marine and Fishery Research Institute of Ningbo, Ningbo 315000, China)

**Abstract** A study was conducted to investigate the effect of various morphological traits on the survival of the post larva *Marsipenaes japonicas* when exposed to air for an extended period. Research specimens were kept under the following conditions prior to the experiment: water temperature (18.0±1.0)°C, salinity 20, and pH 8.1±0.2. the post larva *M. japonicas* from the autumn propagation [total length (7.643±0.639)mm] were exposed to air and observed until they all had died. The survival rate was 100% until 160 min, and mortality was monitored until survival dropped below 5%, which was recorded at 240 min. Shrimp were separated into five groups according to their time of death after exposure to air. Groups were allocated as follows: A 160—180min, B 180—200min, C 200—220min, D 220—240min and E > 240min. Microscopic scanning measurement and multivariate analysis methods were used to study the differences of morphological traits between groups. The results showed that: (1) Among the 15 morphological indices, there were no significant differences in 10 indices between all tested groups; which were the antennule stalk length, rostrum length, eye diameter, promerous length, second abdominal segment length, third abdominal segment length, fourth abdominal segment length, fifth abdominal segment length, telson length, and telson height, respectively. (2) Among the 17 proportion indices, there were no significant differences in only 3 indexes between all tested groups, which were carapace length/total length, carapace height/carapace length, and telson height/telson length. The level of Euclidean distance was extremely significant differences ( $P < 0.01$ ). The results of a principle component analysis (PCA) showed that the accumulative contribution of the four principal components was 91.018% and the eigenvalues of these components were all larger than 1. The contribution of principal component 1 was 57.974% and the main variables whose absolute loading value was more than 0.5 accounted for 64.706% of the total proportion indexes. In discriminate analysis the groups A, B, C and D were concluded as elimination groups and group E was concluded as a retention group. The independent variables were used to establish Fisher classification function equations which could clearly distinguish the individual in elimination group and retention group. The result showed that the discriminate accuracy rate of individuals in retention group for  $P_1$  and  $P_2$  were 100% and 84.75% respectively. The discriminate accuracy rate of  $P_1$  &  $P_2$  for the elimination group was 82% and 100% respectively and the synthetic discriminate accuracy rate was 91%.

**Key words** *Marsipenaes japonicas*; post larva; morphological traits; desiccation; multivariate analysis