

# 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\*

王志铮<sup>1</sup> 朱海军<sup>1</sup> 任夙芝<sup>1</sup> 斯烈钢<sup>1,2</sup> 祝本强<sup>1</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,以水流为胁迫因子(时长 1min),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,以溢水口(实验初始时刻仔虾放置处)为起点,按等距离间距法将自制的水流测定装置(总长 1m)依次划分为 A(0—25cm)、B(25—50cm)、C(50—75cm)、D(75—100cm)和 E(>100cm)等五个区段,在确认实验终了时刻分布于 A 区段内仔虾数量占实验仔虾总数 5%的水流速度为 0.823cm/s 后,以此为实验流速,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(依次为实验终止时刻分布于 A、B、C、D、E 区段内的仔虾)个体间形态比例性状间的差异。结果表明:(1)在所涉 15 项形态测量指标中,各实验群体间均无显著差异( $P>0.05$ )的形态性状共计 8 项,依次为  $X_4$ (眼径)、 $X_5$ (头胸甲长)、 $X_6$ (头胸甲高)、 $X_7$ (第一腹节长)、 $X_8$ (第二腹节长)、 $X_9$ (第三腹节长)、 $X_{10}$ (第四腹节长)和  $X_{14}$ (腹节高);(2)在所涉 17 项形态比例指标中,实验群体间均无显著差异( $P>0.05$ )的形态比例性状共计 7 项,依次为  $C_2$ (额剑长/总长)、 $C_9$ (第五腹节长/总长)、 $C_{10}$ (尾节长/总长)、 $C_{11}$ (尾扇长/总长)、 $C_{15}$ (头胸甲高/头胸甲长)、 $C_{16}$ (腹节高/第一腹节长)和  $C_{17}$ (尾节高/尾节长);(3)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 80.795%,其中第 1 主成分 39.561%,其载荷绝对值大于 0.5 的主要影响变量占形态比例性状总数的 47.059%;(4)将 A 实验群体定义为水流胁迫处理选留群,B、C、D、E 实验群体统归为水流胁迫处理淘汰群。采用逐步判别法,以判别贡献率较大的  $C_1$ (第一触角柄长/总长)、 $C_3$ (眼径/总长)、 $C_7$ (第三腹节长/总长)、 $C_{13}$ (额剑长/头胸甲长)为自变量,所建的 Fisher 分类函数方程组可较清晰地地区分淘汰群和选留群个体,其中选留群的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 98%和 84.85%,淘汰群的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 82.25%和 97.63%,两者综合判别准确率为 90.12%。综上可知,借助形态表型分型可实现日本囊对虾仔虾不同抗流性能群体间的筛选。

**关键词** 日本囊对虾;秋繁仔虾;同生群;形态比例性状;水流速度;多元分析

中图分类号 S968

doi: 10.11693/hyhz20160100002

水流作为水域生态系物质和能量运输的重要载体,直接或间接地决定着对虾的区域分布,是影响对虾存活与生长的重要环境因子(Dall *et al.*, 1992; 戴习林等, 2008)。日本囊对虾属沿岸定居性虾种(王克行, 1997),系近年来我国东南沿海重要的增殖放流对象之一。虽 Dall 等(1992)认为长期生活于沿岸水域的对

虾为适应潮汐运动形成了对水平流的适应性,但自主运动能力较弱的仔虾,仍极易受潮流作用的影响而被冲离增殖定居区。因此,日本囊对虾仔虾的增殖放流效果势必与其抗流能力有着极为密切的关系,开展该虾仔虾抗流性能的等级筛选与定向选择研究无疑对于促进其增殖渔业的健康发展具重要现实意义。

\* 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: 2016-01-04, 收修改稿日期: 2016-02-11

水生动物大多具有逆水顶流的生活习性。已有研究表明,水生动物在静水状况下游泳时的耗氧率明显低于流水状况,且随流速的提高,游泳速度的加快,耗氧率也相应增加(Wardle *et al.*, 1996; Herskin *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2003);形态表型不仅会改变水生动物的游泳能力,而且还受到不同流速生境的影响(Langerhans *et al.*, 2003; Haas *et al.*, 2010)。王吉桥等(1999)指出,虾体不同部位异速生长的阶段性和时序性与其器官结构和功能完善及强化的顺序有关,是机体内新陈代谢相辅相成反应过程中起主导地位的方面发生变化所致。无疑,对虾的顶流运动能力与形态表型及其所映射的能耗效率间均有着极为密切的关系,这就为从表型水平划分仔虾的抗流性能等级提供了启示。但迄今国内外尚未见有关日本囊对虾形态表型对其抗流性能影响的研究报道。鉴于此,本文作者于2014年10月以日

本囊对虾秋繁同生群仔虾为研究对象,借助多元分析方法,较系统研究了不同抗流性能群体间的形态表型差异,旨在为该虾秋繁同生群仔虾抗流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 日本囊对虾仔虾

由宁波市海洋与渔业研究院提供,总长(7.643±0.639)mm。运回浙江海洋学院水产安全养殖实验室后,即刻分置于若干规格为60cm×80cm×60cm的小型实验水槽内,静水停饲暂养24h后备用。

### 1.2 理化条件

实验用水为经暗沉淀处理24h的过滤海水,水温(18.0±1.0)°C、盐度20、pH 8.1±0.2,水质符合NY 5052-2001 无公害食品 海水养殖用水水质(中华人民共和国农业部,2001)要求。水流测定装置见图1。

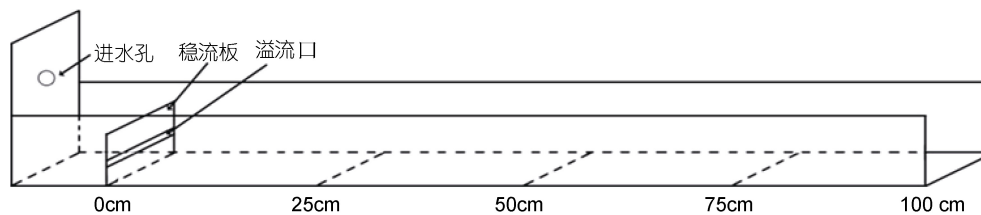


图1 水流测定装置示意图(水流方向自左至右)

Fig.1 The flume test

### 1.3 实验方法

自制总流长为1m的水流测定装置,以溢流口底部为起点,按等距离间距法将该装置依次划分为A[0—25cm]、B(25—50cm)、C(50—75cm)、D(75—100cm)和E(>100cm)等五个实验区段(图1)。任选3000尾仔虾,于实验时将它们均匀分置于30个上述水流测定装置的溢流口底部,以1min为流速处理时限,以经预实验确认在实验终了时刻仍分布于A区段内的仔虾占实验仔虾总数5%的流速0.823cm/s为实验流速,于实验终了时刻随机选取分布于A、B、C、D、E区段内的仔虾群体(依次定义为A、B、C、D、E实验群体)各100尾作为测量样本,借助研究体视镜(Lecia S8APO型)并采用扫描像素法(杨劲峰等,2002),逐尾测量其总长( $X_1$ 、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( $X_{15}$ )等15项形态学指标。

### 1.4 数据处理

根据所测结果,分别计算A、B、C、D、E实验群体的各项形态性状与形态比例性状的均值和标准差,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);根据上述5个不同抗流性能实验群体各形态比例性状的均值,计算它们间经标准化处理的欧氏距离(全距为1.00),并以此度量它们在形态体型比例上的相似性程度( $P<0.05$ 视为显著水平);对所有测量样本的形态比例性状进行主成分分析,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实验群体定义为水流胁迫处理选留群,B、C、D、E实验群体统归为水流胁迫处理淘汰群。采用逐步导入剔除法对上述两类群进行判别分析,并计算判别准确率( $P_1$ 为某类群实验对象判别正确的个体数占该类群实验对象实际总数的百分比; $P_2$ 为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体数占判入该类群实验

对象的总个体数的百分比)和综合判别率( $P$  为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体数之和占实验总个体数的百分比)以验证所建判别方程组的可靠性。上述计算分析均借助 SPSS 17.0 软件来完成。

## 2 结果

### 2.1 抗流特征

观察发现, 实验期间绝大多数仔虾一直处于顶流运动状态。实验结束时刻, 分布于 A、B、C、D、E 区段内的实验仔虾占比均值分别为 5%、11.33%、18.67%、25.33%和 39.67% (图 2), 呈单调增加趋势。根据统计学中的小概率事件实际不可能性原理(盖均镒, 2000), 可将流速 0.823cm/s 确定为实验处理时长 1min 条件下实验仔虾[总长(7.643±0.639)mm]的抗流极限值。

### 2.2 各实验群体形态性状测量值和形态比例指标值间的差异比较

由表 1 可见, 本研究所涉 5 个不同抗流性能实验群体在所测 15 项形态性状中, 除  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{15}$  均呈  $A>E>D>C>B$  ( $P<0.05$ ),  $X_{12}$  呈  $A>E\approx D>C\approx B$ ,  $X_{13}$  呈  $A>E\approx D>C>B$  外, 其余 8 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,  $C_1$  仅 C、D 间具显著差异,  $C_3$ 、 $C_4$ 、

$C_6$ 、 $C_7$ 、 $C_8$  均呈  $B>C>D>E>A$  ( $P<0.05$ ),  $C_{12}$ 、 $C_{13}$  均呈  $A>E>D>C>B$  ( $P<0.05$ ),  $C_{14}$  仅 C 分别与 D、E 具显著差异, 其余 7 项形态比例指标值均无组间差异 ( $P>0.05$ )。由此可见, 实验群体间抗流能力的分化源自它们间形态表型的差异, 在表征实验仔虾抗流能力的差异上形态比例性状较形态性状本身更具丰盛度和有序性。

### 2.3 各实验群体形态比例特征间的相似度比较

根据本研究所涉 5 个不同抗流性能实验群体各项形态比例性状的均值(表 2), 分别计算它们间的欧氏距离(表 3)。由表 3 可见, 各实验群体间的欧氏距离均达到显著水平( $P<0.01$ ), 且均有随实验群体间抗流性能差异的增大而呈显著增大的趋势, 进一步表

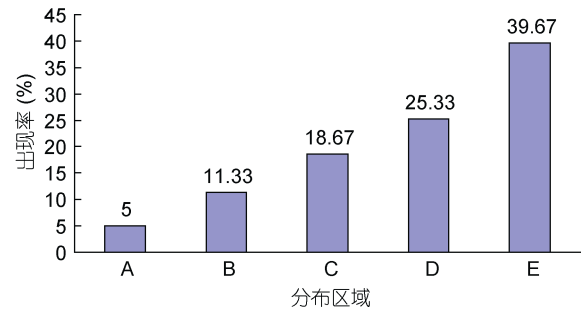


图 2 实验终了时刻仔虾在 A、B、C、D、E 区段的出现率  
Fig.2 The frequency of appearance at the end of experiment at sections A, B, C, D, and E

表 1 实验群体形态性状测量值的参数统计( $n=100$ )  
Tab.1 Statistics of morphological measurements in all experimental groups

性状(mm)	代码	A(M±SE)	B(M±SE)	C(M±SE)	D(M±SE)	E(M±SE)
总长	$X_1$	7.675±0.237 <sup>a</sup>	7.068±0.199 <sup>b</sup>	7.223±0.212 <sup>c</sup>	7.379±0.212 <sup>d</sup>	7.536±0.213 <sup>e</sup>
第一触角柄长	$X_2$	1.075±0.028 <sup>a</sup>	0.992±0.029 <sup>b</sup>	1.013±0.031 <sup>c</sup>	1.031±0.030 <sup>d</sup>	1.059±0.032 <sup>e</sup>
额剑长	$X_3$	1.457±0.043 <sup>a</sup>	1.345±0.038 <sup>b</sup>	1.373±0.040 <sup>c</sup>	1.403±0.042 <sup>d</sup>	1.431±0.038 <sup>e</sup>
眼径	$X_4$	0.308±0.009 <sup>a</sup>	0.308±0.009 <sup>a</sup>	0.307±0.008 <sup>a</sup>	0.307±0.009 <sup>a</sup>	0.308±0.010 <sup>a</sup>
头胸甲长	$X_5$	2.679±0.074 <sup>a</sup>	2.683±0.080 <sup>a</sup>	2.687±0.078 <sup>a</sup>	2.687±0.079 <sup>a</sup>	2.676±0.081 <sup>a</sup>
头胸甲高	$X_6$	0.944±0.028 <sup>a</sup>	0.943±0.025 <sup>a</sup>	0.946±0.026 <sup>a</sup>	0.946±0.028 <sup>a</sup>	0.944±0.029 <sup>a</sup>
第一腹节长	$X_7$	0.432±0.013 <sup>a</sup>	0.431±0.012 <sup>a</sup>	0.433±0.012 <sup>a</sup>	0.43±0.012 <sup>a</sup>	0.432±0.013 <sup>a</sup>
第二腹节长	$X_8$	0.385±0.010 <sup>a</sup>	0.385±0.011 <sup>a</sup>	0.386±0.012 <sup>a</sup>	0.385±0.011 <sup>a</sup>	0.386±0.011 <sup>a</sup>
第三腹节长	$X_9$	0.441±0.012 <sup>a</sup>	0.44±0.012 <sup>a</sup>	0.439±0.013 <sup>a</sup>	0.439±0.013 <sup>a</sup>	0.441±0.012 <sup>a</sup>
第四腹节长	$X_{10}$	0.365±0.011 <sup>a</sup>	0.364±0.011 <sup>a</sup>	0.365±0.010 <sup>a</sup>	0.365±0.011 <sup>a</sup>	0.365±0.010 <sup>a</sup>
第五腹节长	$X_{11}$	1.723±0.097 <sup>a</sup>	1.591±0.092 <sup>b</sup>	1.624±0.088 <sup>c</sup>	1.653±0.090 <sup>d</sup>	1.696±0.101 <sup>e</sup>
尾节长	$X_{12}$	0.878±0.050 <sup>a</sup>	0.814±0.044 <sup>b</sup>	0.832±0.042 <sup>b</sup>	0.842±0.046 <sup>c</sup>	0.868±0.048 <sup>c</sup>
尾扇长	$X_{13}$	1.233±0.076 <sup>a</sup>	1.144±0.065 <sup>b</sup>	1.166±0.062 <sup>c</sup>	1.187±0.070 <sup>d</sup>	1.217±0.071 <sup>d</sup>
腹节高	$X_{14}$	0.736±0.022 <sup>a</sup>	0.737±0.021 <sup>a</sup>	0.739±0.021 <sup>a</sup>	0.735±0.022 <sup>a</sup>	0.737±0.021 <sup>a</sup>
尾节高	$X_{15}$	0.226±0.006 <sup>a</sup>	0.208±0.006 <sup>b</sup>	0.213±0.006 <sup>c</sup>	0.217±0.006 <sup>d</sup>	0.221±0.006 <sup>e</sup>

A、B、C、D、E: 依次为实验终了时刻分布于距离溢流口底部 0—25cm、25—50cm、50—75cm、75—100cm 和 100cm 之外的仔虾群体; 同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 Differences in morphological traits for all experimental 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 <sub>1</sub>	0.140±0.003 <sup>ab</sup>	0.140±0.003 <sup>ab</sup>	0.140±0.003 <sup>a</sup>	0.140±0.003 <sup>b</sup>	0.141±0.003 <sup>ab</sup>
额剑长/总长	C <sub>2</sub>	0.190±0.004 <sup>a</sup>	0.190±0.004 <sup>a</sup>	0.190±0.004 <sup>a</sup>	0.190±0.004 <sup>a</sup>	0.190±0.004 <sup>a</sup>
眼径/总长	C <sub>3</sub>	0.040±0.001 <sup>a</sup>	0.044±0.001 <sup>b</sup>	0.043±0.001 <sup>c</sup>	0.042±0.001 <sup>d</sup>	0.041±0.001 <sup>e</sup>
头胸甲长/总长	C <sub>4</sub>	0.349±0.007 <sup>a</sup>	0.380±0.008 <sup>b</sup>	0.372±0.007 <sup>c</sup>	0.364±0.007 <sup>d</sup>	0.355±0.007 <sup>e</sup>
第一腹节长/总长	C <sub>5</sub>	0.056±0.001 <sup>a</sup>	0.061±0.001 <sup>b</sup>	0.060±0.001 <sup>c</sup>	0.058±0.001 <sup>d</sup>	0.057±0.001 <sup>e</sup>
第二腹节长/总长	C <sub>6</sub>	0.050±0.001 <sup>a</sup>	0.055±0.001 <sup>b</sup>	0.053±0.001 <sup>c</sup>	0.052±0.001 <sup>d</sup>	0.051±0.001 <sup>e</sup>
第三腹节长/总长	C <sub>7</sub>	0.057±0.001 <sup>a</sup>	0.062±0.001 <sup>b</sup>	0.061±0.001 <sup>c</sup>	0.060±0.001 <sup>d</sup>	0.059±0.001 <sup>e</sup>
第四腹节长/总长	C <sub>8</sub>	0.048±0.001 <sup>a</sup>	0.051±0.001 <sup>b</sup>	0.051±0.001 <sup>c</sup>	0.049±0.001 <sup>d</sup>	0.048±0.001 <sup>e</sup>
第五腹节长/总长	C <sub>9</sub>	0.224±0.008 <sup>a</sup>	0.225±0.010 <sup>a</sup>	0.225±0.009 <sup>a</sup>	0.224±0.008 <sup>a</sup>	0.225±0.010 <sup>a</sup>
尾节长/总长	C <sub>10</sub>	0.114±0.004 <sup>a</sup>	0.115±0.005 <sup>a</sup>	0.115±0.004 <sup>a</sup>	0.114±0.004 <sup>a</sup>	0.115±0.005 <sup>a</sup>
尾扇长/总长	C <sub>11</sub>	0.161±0.007 <sup>a</sup>	0.162±0.006 <sup>a</sup>	0.161±0.006 <sup>a</sup>	0.161±0.007 <sup>a</sup>	0.161±0.006 <sup>a</sup>
第一触角柄长/头胸甲长	C <sub>12</sub>	0.402±0.008 <sup>a</sup>	0.370±0.008 <sup>b</sup>	0.377±0.007 <sup>c</sup>	0.384±0.008 <sup>d</sup>	0.396±0.007 <sup>e</sup>
额剑长/头胸甲长	C <sub>13</sub>	0.544±0.010 <sup>a</sup>	0.501±0.010 <sup>b</sup>	0.511±0.010 <sup>c</sup>	0.522±0.011 <sup>d</sup>	0.535±0.011 <sup>e</sup>
眼径/头胸甲长	C <sub>14</sub>	0.115±0.002 <sup>ab</sup>	0.115±0.002 <sup>ab</sup>	0.114±0.002 <sup>a</sup>	0.114±0.002 <sup>b</sup>	0.115±0.002 <sup>b</sup>
头胸甲高/头胸甲长	C <sub>15</sub>	0.352±0.007 <sup>a</sup>	0.351±0.007 <sup>a</sup>	0.352±0.008 <sup>a</sup>	0.352±0.007 <sup>a</sup>	0.353±0.007 <sup>a</sup>
腹节高/第一腹节长	C <sub>16</sub>	1.704±0.032 <sup>a</sup>	1.713±0.034 <sup>a</sup>	1.707±0.034 <sup>a</sup>	1.708±0.034 <sup>a</sup>	1.706±0.036 <sup>a</sup>
尾节高/尾节长	C <sub>17</sub>	0.257±0.011 <sup>a</sup>	0.257±0.010 <sup>a</sup>	0.256±0.009 <sup>a</sup>	0.258±0.010 <sup>a</sup>	0.255±0.011 <sup>a</sup>

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 traits for all experimental groups

实验群体	A	B	C	D
B	1.810	0		
C	2.634	1.839	0	
D	3.031	2.295	2.431	0
E	3.500	2.859	1.778	2.040

明可用形态比例性状来表征实验群体间抗流性能的差异。

#### 2.4 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, 本研究涉形态比例性状相关系数矩阵与单位阵具显著差异 ( $P<0.05$ ) 且适合度尚可 ( $KMO=0.767>0.700$ ), 表明有做主成分分析的必要性。

由表 4 可见, 所列 5 个主成分的特征值均大于 1 且方差累计贡献率达 80.795%, 故可基本认定它们为能概括本研究涉日本囊对虾秋繁同生群仔虾不同抗水流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(39.561%)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>、PC<sub>5</sub> 所含主要变量的个数依次为 8、4、3、3 和 1, 除 PC<sub>5</sub> 仅有的 1

个主要变量载荷高达 0.957 外, 其余 8 个载荷绝对值达到 0.80 以上的主要变量均存在于 PC<sub>1</sub> 中。无疑, PC<sub>1</sub> 在区分的不同抗水流性能实验群体间的体型差异上具有重要作用。绘制 PC<sub>1</sub> 与其它各主成分间的得分散布图, 得图 3。由图 3 可见, 虽然 A、B、C、D、E 实验测定样本沿 FAC1 轴呈由右向左依次排列, 但抗流性能相邻及相间的两实验群体之间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实验个体的类群归属问题上受到了来自自身及其它主成分主要影响变量的干扰。

#### 2.5 水流胁迫处理淘汰群体和选留群体实验对象间形态比例特征的判别分析

采用逐步导入剔除法, 从表 2 所列形态比例性状中筛选出对判别贡献较大的 C<sub>1</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>7</sub> 和 C<sub>13</sub> 进行判别分析, F 检验表明这些性状均达到极显著水平 ( $P<0.01$ )。根据上述 4 个性状建立本研究各区段秋繁仔虾实验样本的 Fisher 分类函数方程组于表 5。经验证, 选留群体实验样本的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 98% 和 84.85%, 淘汰群体实验样本的判别准确率  $P_1$ 、 $P_2$  分别为 82.25% 和 97.63%, 综合判别准确率为 90.12% (表 6)。另, 所绘制的典型判别函数判别得分散布图(图 4), 更直观地印证了上述判别结果的可靠性。

表 4 实验群体形态比例特征的主成分分析  
Tab.4 The principal component analysis on morphological traits for all experimental groups

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>
第一触角柄长/总长	C <sub>1</sub>	0.301	0.424	0.344	0.546*	0.088
额剑长/总长	C <sub>2</sub>	0.334	0.397	0.331	0.554*	0.053
眼径/总长	C <sub>3</sub>	0.880*	-0.008	0.269	-0.207	-0.013
头胸甲长/总长	C <sub>4</sub>	0.967*	-0.115	-0.118	0.108	0.053
第一腹节长/总长	C <sub>5</sub>	0.895*	-0.036	0.162	0.031	-0.302
第二腹节长/总长	C <sub>6</sub>	0.905*	-0.053	0.168	-0.016	0.025
第三腹节长/总长	C <sub>7</sub>	0.898*	-0.008	0.196	-0.048	0.048
第四腹节长/总长	C <sub>8</sub>	0.896*	-0.051	0.149	-0.022	0.030
第五腹节长/总长	C <sub>9</sub>	0.240	0.665*	-0.034	0.074	0.013
尾节长/总长	C <sub>10</sub>	0.304	0.787*	-0.350	-0.143	-0.087
尾扇长/总长	C <sub>11</sub>	0.241	0.645*	-0.144	-0.121	0.081
第一触角柄长/头胸甲长	C <sub>12</sub>	-0.804*	0.352	0.307	0.190	-0.003
额剑长/头胸甲长	C <sub>13</sub>	-0.801*	0.341	0.304	0.202	-0.022
眼径/头胸甲长	C <sub>14</sub>	-0.209	0.194	0.654*	-0.539*	-0.140
头胸甲高/头胸甲长	C <sub>15</sub>	-0.183	0.177	0.677*	-0.425	-0.071
腹节高/第一腹节长	C <sub>16</sub>	0.048	0.075	0.069	-0.227	0.957*
尾节高/尾节长	C <sub>17</sub>	-0.092	-0.672*	0.501*	0.356	0.112
特征值		6.725	2.602	1.902	1.431	1.075
贡献率(%)		39.561	15.304	11.188	8.418	6.325
累计贡献率(%)		39.561	54.864	66.052	74.470	80.795

### 3 讨论

本研究所涉各测定群体形态比例指标均值间的欧式距离均有随抗流性能差异的增大而呈显著增大的趋势(表 3), 表明形态比例特征与其抗流性能间具强相关性。由表 4 可见, 虽 PC<sub>1</sub> 的主要影响变量个数远多于其它主成分, 方差贡献率略低于其它主成分之和, 但就 FAC1 得分轴上各相邻及相间实验群体测定样本间均存在较大程度的重叠(图 2), 以及水流胁迫处理选留群体和淘汰群体分别有 2% 和 17.75% 的个体被误判(表 6, 图 3)的结果, 表明被列入诸主成分的主要影响变量和经判别分析被选入 Fisher 分类函数方程组的自变量中共同包含了对区分抗流性能具高分辨作用和较强干扰作用的两类关键变量。结合表 5 所列 4 个判别变量中, C<sub>3</sub>、C<sub>7</sub> 均呈 B>C>D>E>A ( $P<0.05$ ), C<sub>13</sub> 呈 A>E>D>C>B ( $P<0.05$ ), 而 C<sub>1</sub> 仅 C、D 实验群体间具显著差异( $P<0.05$ ) 的结果(表 2), 可判定上述具强干扰作用的关键变量应为 C<sub>1</sub>, 而其余 3 个判别变量则均为具高分辨作用的关键变量。

已有研究表明, 顶流运动会显著增加水生动物的能耗水平并提高机体耗氧率(Steven *et al.*, 1982;

Wardle *et al.*, 1996; Herskin *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2003); 较为激烈的运动会导致水生动物因氧需求量超过其供应量而表露“氧债”, 并使其机体能量供不应求(林浩然, 1999)。因此, 较高的流速会使顶流运动中供氧或供能不足实验个体首先被冲离, 即实验个体抗流能力的强弱与其运动能量代谢能力有着极为密切的关系。无疑, 本研究中 A 实验群体不仅抗流性能与 B 最为接近, 与 E 差距最大(表 3), 且在 FAC1 得分轴上与 B 重叠程度最大, 与 E 完全不重叠(图 2), 而在判别表型上却表露为 C<sub>3</sub>、C<sub>7</sub> 均呈 B>C>D>E>A ( $P<0.05$ ), C<sub>13</sub> 呈 A>E>D>C>B ( $P<0.05$ ) 的结果(表 2, 图 3), 表明实验仔虾存在以 A、B 实验群体为代表的两种截然不同的运动能量代谢机制。

仔虾处于以体型增长为主和体型增粗为辅的异速生长阶段。据报道, 对虾科种类的主要脏器集中于头胸部(王吉桥等, 1999); 额剑系表征对虾体质和生长代谢旺盛程度的重要体征(王志铮等, 2012), 具御敌攻击和保障运动平衡的作用(王安利等, 1993; 沈辉等, 2010)。因此, 本研究所涉各实验群体的 X<sub>1</sub> 和 C<sub>13</sub> 均呈 A>E>D>C>B ( $P<0.05$ ) 的结果(表 1, 表 2), 表明额剑长与头胸甲之比的 C<sub>13</sub> 可作为表征仔虾生长代谢

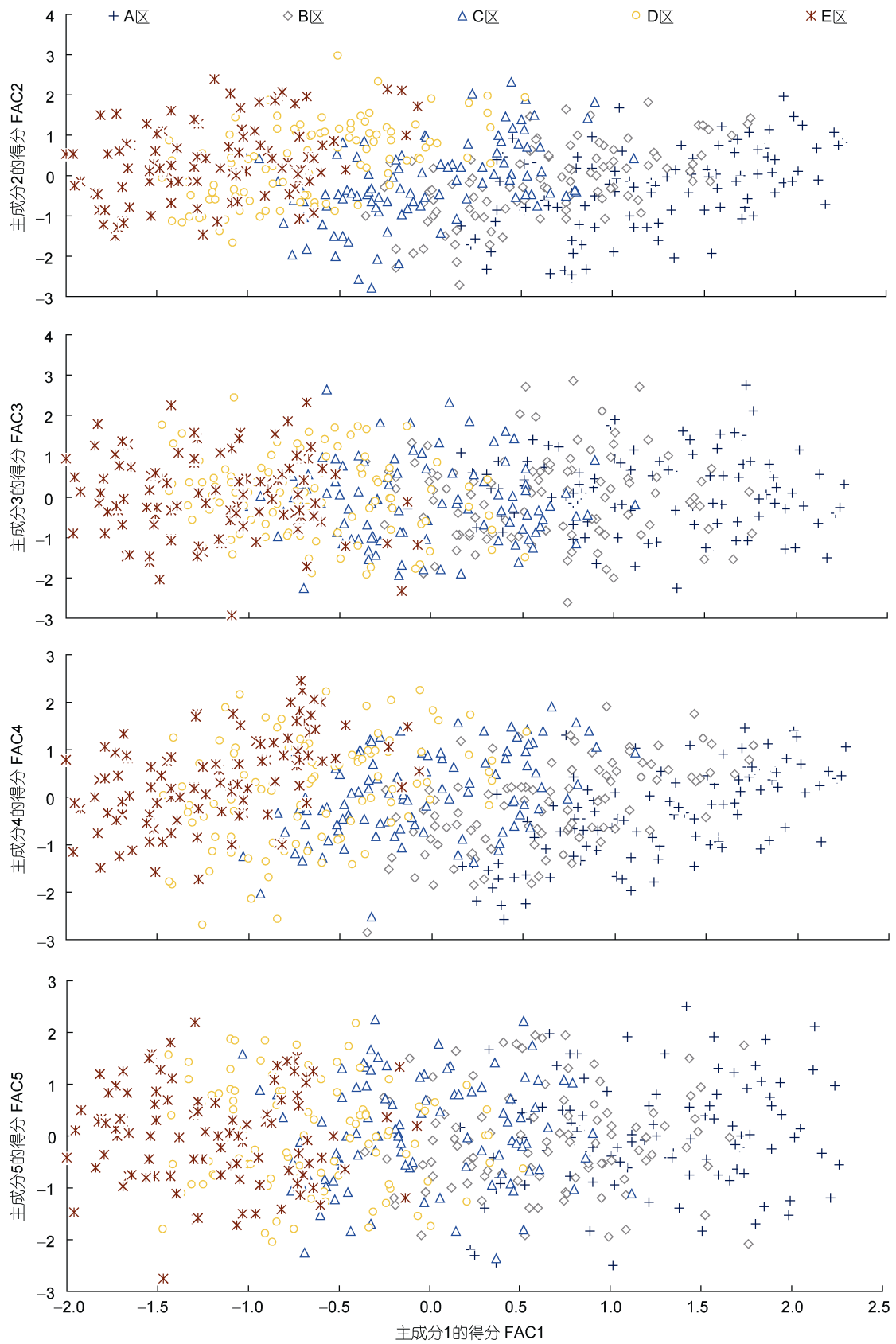


图 3 实验测定样本形态比例指标的主成分散布图

Fig.3 The scatter diagram of principal component of morphological traits for all experimental groups

表 5 选留群体和淘汰群体表型比例特征 Fisher 分类函数方程组自变量系数及常数项  
Tab.5 The independent variable coefficient and the constant terms in the Fisher classification function

群体类型	自变量系数				常数项
	$C_1$	$C_3$	$C_7$	$C_{13}$	
选留群体	9562.935	35470.811	19125.274	4477.221	-3162.925
淘汰群体	9791.617	34472.473	18545.578	4522.143	-3140.599

表 6 选留群体和淘汰群体实验样本的判别分类结果  
Tab.6 The discrimination for all experimental groups

群体类型	总数(ind)	预测分类(ind)		判别准确率(%)		综合判别率(%)
		选留群	淘汰群	$P_1$	$P_2$	
选留群体	100	98	2	98.00	84.85	90.12
淘汰群体	400	71	329	82.25	97.63	

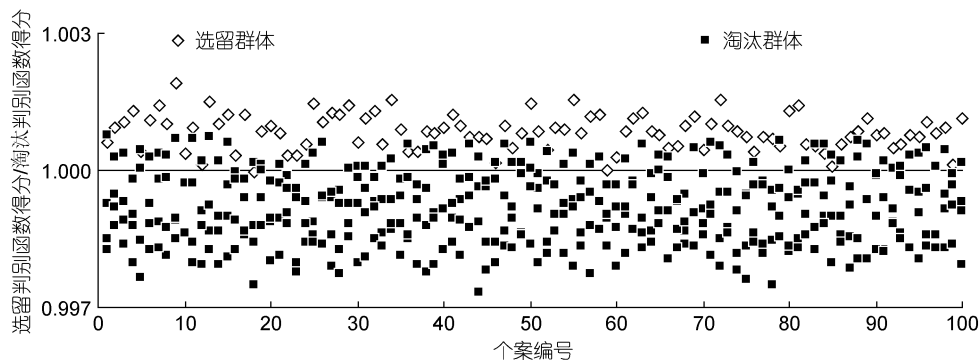


图 4 淘汰群体与选留群体实验样本的典型判别函数判别得分散布图

Fig.4 The scatter diagram of typical discriminant function for all experimental groups

强度的重要指标。因此,可用于表征生长速度的  $X_1$  和生长代谢强度的  $C_{13}$  均呈 A 实验群体显著大于 B 实验群体 ( $P < 0.05$ ), 而可用于表征寻食视野的  $C_3$  和腹部运动幅度的  $C_7$  则均呈 A 实验群体显著小于 B 实验群体 ( $P < 0.05$ ) 的结果(表 1, 表 2), 也就揭示了 A 实验群体具采取显著提高运动代谢强度和增加捕食运动频率, 以获得快速生长为特征的“高能耗速生型”运动能量代谢机制, B 实验群体具采取显著降低运动代谢水平以减少运动频率, 和显著扩大寻食视野与腹部运动幅度以提高捕食成功率为特征的“低能耗慢长型”运动能量代谢机制, 故前者较后者更易在较激烈的顶流运动中表露“氧债”。无疑, 戴习林等(2008)报道的养殖于水平水流 0.63—2.78mm/s 范围内的凡纳滨对虾幼虾体长整齐度显著优于养殖于静水状态下的结果, 也充分支持了上述判断的可靠性, 即水流作用使采取“高能耗速生型”运动能量代谢机制的幼虾, 因能耗明显增加致使其体长增速有所减缓, 而采取“低能耗慢长型”运动能量代谢机制的幼虾, 则因供饵条件明显改善致使其体长增速有所提高, 从而导致上

述两类运动能量代谢机制的幼虾的体长更加逼近, 整齐度获得显著提高。显然, A 实验群体被选留的原因, 系本研究所设实验周期下的实验流速接近或低于 A 实验群体顶流运动的能耗可容忍临界所致, 而 B、C、D、E 实验群体, 则因该实验流速已超过它们顶流运动的能耗可容忍临界, 致使它们随生长速度和顶流能耗的增大而首先被冲离。综上可知,  $C_3$ 、 $C_7$ 、 $C_{13}$  成为对区分抗流性能具高分辨作用的关键变量的主因, 为这些关键判别变量组合可真实反映所涉实验群体间运动能量代谢能力的差异; 仔虾第一触角柄第一节基部具平衡囊, 囊内有砂粒, 具司体位及姿态平衡的作用, 第三节末端的触鞭被认为是触觉感受器官(王克行, 1997), 故  $C_{17}$  成为对区分抗流性能具较强干扰作用的关键变量的主因, 无疑与其含形态性状信息在维系仔虾运动平衡中所起的具重要作用有关。

#### 参 考 文 献

王吉桥, 靳翠丽, 姜静颖等, 1999. 中国对虾和日本对虾身体不同部位生长的研究. 见: 中国动物科学研究——中国动物学会第十四届会员代表大会及中国动物学会 65 周年年



- 会论文集. 郑州: 中国动物学会, 92—98
- 王安利, 母学全, 周世梅等, 1993. 中国对虾行为的观察. 海洋科学, 17(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. 虾蟹类增养殖学. 北京: 中国农业出版社, 7—8, 31
- 中华人民共和国农业部, 2001. NY 5052-2001 无公害食品海水养殖用水水质. 北京: 中国农业出版社, 1—5
- 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
- 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
- 林浩然, 1999. 鱼类生理学. 广州: 广东高等教育出版社, 57
- 盖均镒, 2000. 试验统计方法. 北京: 中国农业出版社, 49
- 戴习林, 臧维玲, 张 韬, 2008. 水流对凡纳滨对虾幼虾生长与存活的影响. 上海海洋大学学报, 17(1): 52—57
- Dall W, Hill B J, Rothlisberg P C 等编著, 陈楠生, 李新正, 刘恒等译, 1992. 对虾生物学. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 358—379
- Haas T C, Blum M J, Heins D C, 2010. Morphological responses of a stream fish to water impoundment. Biology Letters, 6(6): 803—806
- Herskin J, Steffensen J F, 1998. Energy saving 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
- Langerhans R B, Layman C A, Langerhans A K *et al*, 2003. Habitat-associated morphological divergence in two neotropical fish species. Biological Journal of the Linnean Society, 80(4): 689—698
- 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
- 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
- Stevens D E, Dizon A E, 1982. Energetic of locomotion in warm-bodied fish. Annual Review of Physiology, 44: 121—131
- Wardle C S, Soofiani N M, O'Neill F G *et al*, 1996. Measurements of aerobic metabolism of a school of horse mackerel at different swimming speeds. Journal of Fish Biology, 49(5): 854—862



## CORRELATION BETWEEN MORPHOLOGICAL TRAITS AND FLOW VELOCITY OF POST LARVA *MARSPENAEUS JAPONICUS*

WANG Zhi-Zheng<sup>1</sup>, ZHU Hai-Jun<sup>1</sup>, REN Su-Yi<sup>1</sup>, SI Lie-Gang<sup>1,2</sup>, ZHU Ben-Qiang<sup>1</sup>

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

**Abstract** We investigated the correlation between morphological traits and flow velocity of individual post larva *Marspenaeus japonicus* in flume text. Three thousands of shrimps were collected from autumn propagation [total length (7.643±0.639)mm] and placed near the overflow outlet of the flume under the conditions of water temperature 18.0°C, salinity 20, and pH 8.1. The total length of flume is 1 m. Shrimps were counted at the end of experiment in five zones (groups) in 25-cm interval: A (0—25cm), B (25—50cm), C (50—75cm), D (75—100cm), and E (>100cm). The flow velocity was set 0.823cm/s that had been determined in a pre-experiment, at which 5% shrimps remained in Zone A at the end of experiment. Fifteen morphological indices were measured optically with stereoscope (Lecia S8APO) on 100 individuals that randomly sampled in each group at the end of experiment lasted for one minutes. Result shows that there were no significant differences in 8 indices among all groups, i.e.,  $X_4$  (eye diameter),  $X_5$  (carapace length),  $X_6$  (carapace height),  $X_7$  (promerous length),  $X_8$  (second abdominal segment length),  $X_9$  (third abdominal segment length),  $X_{10}$  (fourth abdominal segment length), and  $X_{14}$  (abdominal segment height). Among the 17 morphological proportion indices, no significant differences were found in 7 indexes among groups, which were  $C_2$  (rostrum length / total length),  $C_9$  (fifth abdominal segment length / total length),  $C_{10}$  (and telson length / total length),  $C_{11}$  (tailfan length / total length),  $C_{15}$  (Carapace height / Carapace length),  $C_{16}$  (abdominal segment height / promerous length), and  $C_{17}$  (telson height / telson length). However, the Euclidean distance showed extremely significant differences ( $P<0.01$ ). Moreover, principle component analysis (PCA) indicated that all the five principal components we used contributed accumulatively 80.795% and all their eigenvalues were larger than 1. The contribution of principal component 1 was the largest for 39.561% and the main variables whose absolute loading value was  $>0.5$  accounted for 47.059% of the total proportion indexes. In discriminate analysis, Groups B, C, D, and E were concluded as elimination groups and Group A was concluded as a retention group. The independent variables were used to establish Fisher classification function equations who could clearly distinguish the individual in the elimination group and retention group. The discriminate accuracy rates  $P_1$  and  $P_2$  for individuals in the retention group were 98% and 84.85%, and those in the elimination group were 82.25% and 97.63%, respectively. The overall discriminate accuracy rate reached 90.12%.

**Key words** *Marspenaeus japonicas*; autumn propagation; post larva; morphological proportion traits; flow velocity; multivariate analysis