

美国紫踵劈蚌与三角帆蚌和褶纹冠蚌的形态比较与判别分析

闻海波^① 顾若波^① 徐钢春^① 华丹^{①②*}

(^①中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 农业部水生动物遗传育种和养殖生物学重点开放实验室 无锡 214081 ;

^②Virginia Polytechnic Institute and State University ,VA. 24061 USA)

摘要 描述了紫踵劈蚌(*Potamilus alatus*)贝壳外部和内部特征,并对紫踵劈蚌、三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)和褶纹冠蚌(*Cristaria plicata*)进行了形态学比较。运用多变量形态度量学方法分析了3种淡水育珠蚌的形态差异。主成分分析构建了2个主成分,其中第一主成分的方差贡献率为66.90%,第二主成分的贡献率为33.10%。2个主成分的累计贡献率达到100%。采用逐步判别法,从11个比例性状中筛选出6个主要性状建立了3种育珠蚌的形态判别函数,其综合判别准确率达到100%。

关键词: 紫踵劈蚌, 淡水育珠蚌, 形态学特征, 主成分分析, 判别方程

中图分类号: Q954 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2007)03-84-06

Morphological Comparison and Discriminating Analysis in Native American Freshwater Mussel *Potamilus alatus* and Chinese Freshwater Pearl Mussels *Hyriopsis cumingii* and *Cristaria plicata*

WEN Hai-Bo^① GU Ruo-Bo^① XU Gang-Chun^① HUA Dan^{①②*}

(^①Key Open Laboratory for Genetic Breeding of Aquatic Animals and Aquaculture Biology, Ministry of Agriculture, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China ;

^②Virginia Polytechnic Institute and State University, VA. 24061 USA)

Abstract: The valve morphology of American freshwater mussel *Potamilus alatus* was studied, and compared with Chinese freshwater pearl mussels *Hyriopsis cumingii* and *Cristaria plicata*. The principle components analysis was used to analyze the differences in three species, resulted in generating two principal components. The contributory rates of two principal components were 66.9% and 33.1% respectively. Furthermore, six dominant features were selected from eleven ones by stepwise discriminating analysis, and were used to built the discriminating functions for three freshwater pearl mussels. The synthetic identification accuracy was also determined to be 100% in this study.

Key words: Pink Heelsplitter (*Potamilus alatus*); Freshwater pearl mussel; Morphological characteristic; Principle component analysis; Discriminant functions

紫踵劈蚌(*Potamilus alatus*),又名翼溪蚌,主要分布在密西西比河、大湖、墨西哥湾等流域,属大型淡水贝类,成贝个体达20 cm以上,珍珠层厚实,呈紫黑色,光滑细腻,极富光泽。华丹^[1]对紫踵劈蚌的育珠试验表明该种是培育淡水紫黑珍珠的优良品种。

基金项目 农业部948项目(No.2001-479-1),国家基础研究及江苏省水产三项工程项目(P2001-09);

* 通讯作者, E-mail: huad@vt.edu;

第一作者介绍 闻海波,男,研究实习员,从事淡水优质珍珠研究, E-mail: wenhb@ffrc.cn.

收稿日期: 2006-10-25, 修回日期: 2007-03-23

自 20 世纪 80 年代起,我国的淡水珍珠产量一直居于世界首位。近年来的产量一直保持在 1 000 t 以上,约占世界珍珠年产量的 95%,而其销售额仅为世界珍珠销售额的 8%^[2]。引进紫踵劈蚌进行淡水紫黑色珍珠的培育,将有效地改变目前我国淡水珍珠养殖业“高产低效”的尴尬局面,对我国淡水珍珠养殖业的可持续发展有重大意义。我国目前用于淡水珍珠养殖的主要品种是三角帆蚌 (*Hyriopsis cumingii*) 与褶纹冠蚌 (*Cristaria plicata*)^[3],两者均隶属于瓣鳃纲蚌科,魏开建等^[4]认为淡水贝类趋同现象严重,个体发育外形变化明显,贝壳形态也因栖息环境的变化而异。紫踵劈蚌外部形态与前两者有较大的相似之处,从外形上区分 3 种淡水育珠蚌存在一定的困难。

国内许多研究者^[4-9]运用多变量形态度量学方法,对不同种、不同地理种群、杂交子一代贝类、甲壳类等进行形态判别分析,均获得令人满意的效果。国外 Parmalee 等^[10]对紫踵劈蚌钩介幼虫的寄主进行了筛选研究;Perkins 等^[11]对南达科他州的紫踵劈蚌资源量进行了评估,而有关紫踵劈蚌与我国主要淡水育珠蚌的形态比较和判别分析国内外未见报道。本文对紫踵劈蚌的形态学进行特征描述,并运用聚类分析、主成分分析及判别分析对 3 种淡水育珠蚌的形态进行比较分析,其结果将为我国今后淡水育珠生产中品种鉴别和良种选育提供参考依据,并为紫踵劈蚌种质资源的保存积累基础资料。

1 材料与方 法

1.1 材料 三角帆蚌和褶纹冠蚌于 2004 年 5 月 6 日采于太湖三山岛附近水域;紫踵劈蚌由中国水产科学院淡水渔业研究中心于 2002 年底从美国引进,暂养于本中心淡水贝类实验室,驯化饲养。3 种蚌分别随机选取 40 只用于测量。

1.2 形态指标及测量 用电子天平测量贝壳空壳重(W_0) (精确到 0.01 g),贝壳腹缘中线 FG 上最厚处为壳厚(ST),游标卡尺测量,精确到 0.01 cm,其他形态指标测量按照钱荣华等^[6]的

方法,紫踵劈蚌测量点详见图 1,三角帆蚌、褶纹冠蚌与其相似。每只蚌测量 13 个指标,分别为: W_0 (壳重)、AB (壳长)、OH (壳高)、SW (壳宽)、ST (壳厚)、OA、OB、OC、OD、OE、FA、FB、FG。共获得可量性状指标 1 560 个。其中:O 表示壳顶,A 为前端,B 为后端,C 为铰合部前缘,D 为铰合部后缘,E 为顶点上方突起,F 为帆状顶点。

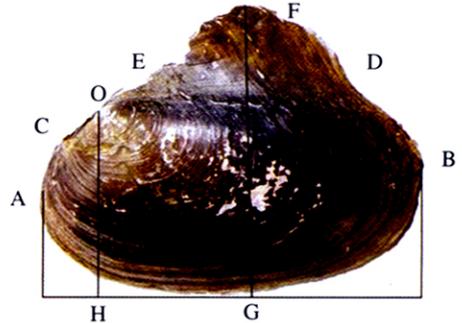


图 1 紫踵劈蚌形态性状测量
Fig. 1 Morphological measurements of Pink Heelsplitter



图 2 紫踵劈蚌贝壳内部形态特征

Fig. 2 Internal shell characters of Pink Heelsplitter

1.3 数据分析 按钱荣华等^[6]方法将形态数据(壳重除外)均除以壳长,以消除个体大小差异,得到 11 个比例性状,再分别求出各组样本每个参数校正值的平均值。用 SPSS 11.0 软件进行数据分析,聚类分析采用层次聚类分析中的 Q 型聚类,即对样本进行分类,其中遗传距离的计算采用欧氏距离;主成分分析参照张尧庭等^[12]的方法;用逐步判别法建立 3 种蚌的形态判别函数,并对所有样本的类别进行判别,判别

准确率(%) = 判别正确的蚌数/实测蚌数 × 100。描述性变量用平均值 ± 标准差表示。其中欧氏距离计算公式如下：

$$EUCLID = \sqrt{\sum_{i=1}^k (xi - yi)^2}$$

式中, *k* 表示每个样本有 *k* 个变量; *x_i* 表示第一个样本在 *i* 个变量上的值; *y_i* 表示第二个样本在 *i* 个变量上的值。

2 结果与分析

2.1 三种蚌的形态学比较

紫踵劈蚌与三角帆蚌、褶纹冠蚌外形极其相似,在贝壳后背部均形成大型的帆状翼,其绞合部韧带较发达,壳顶

低,不膨胀,位于壳前端约 1/4.4 处,成贝壳顶多腐蚀,雌雄贝壳的前端都为近圆形,而雌性的贝壳后端钝而平直,雄性后端成近圆形或椭圆形。但贝壳角质层的色泽存在一定的差异:三角帆蚌壳为黄色至深褐色,褶纹冠蚌为深黄绿色至黑褐色,表面具放射状条纹,紫踵劈蚌为黑褐色,且表面较粗糙,这可能与其栖息环境有一定关系。从外部形态上看,褶纹冠蚌双壳最为膨胀,紫踵劈蚌次之,三角帆蚌最为扁平;而从贝壳的厚度来看,紫踵劈蚌最厚,褶纹冠蚌与三角帆蚌相当。3 种育珠蚌的描述性统计值详见表 1。

表 1 3 种淡水育珠蚌的 6 个可量性状的描述性统计值($\bar{X} \pm SE, n = 40$)

Table 1 Descriptive statistics of six quantity characters for three freshwater pearl mussels

种名 Species	壳重(g) Shell weight	壳厚(cm) Shell thickness	壳长(cm) Shell length	壳高(cm) Shell height	壳宽(cm) Shell width
紫踵劈蚌 <i>P. alatus</i>	150.91 ± 37.55	0.39 ± 0.08	14.72 ± 1.07	7.59 ± 0.54	4.29 ± 0.43
褶纹冠蚌 <i>C. plicata</i>	85.38 ± 64.82	0.20 ± 0.10	14.89 ± 2.97	8.08 ± 1.64	4.39 ± 0.91
三角帆蚌 <i>H. cumingii</i>	101.20 ± 61.30	0.24 ± 0.14	14.35 ± 2.74	7.21 ± 1.62	3.83 ± 1.02

从贝壳的内部结构看,紫踵劈蚌的闭壳肌痕不同于其他两种,前闭壳肌较深,呈耳状,在后侧上方有一个前伸足肌痕,与前闭壳肌痕分界不明显,在后侧方下部有一小的前缩足肌痕,肌痕深同前闭壳肌,而其后闭壳肌痕浅,呈卵圆形,明显大于前闭壳肌痕;三角帆蚌的前后闭壳肌痕形态、深度与紫踵劈蚌类似,但在前闭壳肌的后侧上方有一个较小的前伸足肌痕,呈方形,在下方有一前缩足肌痕,略深,呈三角形;褶纹冠蚌的闭壳肌痕和外套痕均不明显,形状与前两者类似,但在前闭壳肌痕后侧未见前伸足和缩足肌痕^[13]。紫踵劈蚌齿式与三角帆蚌相似:左右壳均具 2 枚拟主齿,左壳 2 枚侧齿,右壳 1 枚粗厚的侧齿,而褶纹冠蚌无拟主齿,仅有细弱的侧齿。但从拟主齿的形状特征来看,紫踵劈蚌左壳前拟主齿呈三角锥形,后拟主齿中间有一小凹陷,大小与前拟主齿相似,后部并有 2 枚粗厚的条状侧齿,低矮;右壳前拟主齿弱小,短长条状,后拟主齿粗壮,明显高于前者,并有一粗壮的条状侧齿,高于左壳。而三角帆蚌的拟

主齿为长片状,且左壳前拟主齿明显大于后拟主齿。齿式和珍珠层是 3 物种鉴定的主要内部特征,具体区别见表 2 和图 2。

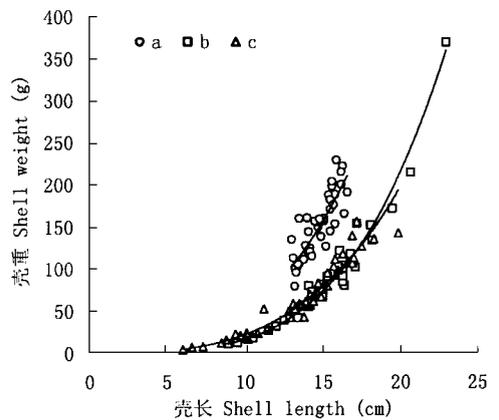


图 3 三种蚌壳重与壳长的相关关系

Fig. 3 The correlate relationship between shell weight and length of three mussels

- a. 紫踵劈蚌; b. 褶纹冠蚌; c. 三角帆蚌。
- a. *Potamilus alatus*; b. *Cristaria plicata*;
- c. *Hyriopsis cumingii*.

表 2 3 种淡水育珠蚌的形态学比较

Table 2 Morphological comparison of three freshwater pearl mussels

种类 Species	贝壳颜色 Shell colour	壳顶位置 Umbo situation	贝壳外形 Shell shape	左壳 Left shell	右壳 Right shell	珍珠层 Nacreous layer
三角帆蚌 ^[11] <i>H. cuningii</i>	黄色至深褐色	壳长前部 约 1/5 处	不等边四边形, 较扁平	2 枚拟主齿; 2 枚条状侧齿	2 枚拟主齿; 1 枚条状侧齿乳	白色或肉红色
褶纹冠蚌 ^[11] <i>C. plicata</i>	深黄绿色至黑褐色, 具放射状条纹	壳长前部 约 1/6 处	略呈不等边三角 形, 贝壳膨胀	1 枚细弱前侧齿, 1 枚短而粗的后侧齿	1 枚细弱前侧齿, 1 枚短而粗的后侧齿	白色, 鲑肉 色或淡兰色
紫踵劈蚌 <i>P. alatus</i>	黑褐色	壳长前部约 1/4.4 处	三角形 略膨胀	2 枚拟主齿, 2 枚粗厚的侧齿	2 枚拟主齿, 1 枚侧齿	紫色或紫黑色

2.2 壳重与壳长、壳高、壳宽及壳厚的回归分析 3 种蚌的壳重与壳长相关关系如图 3 所示 相关分析表明壳重(W_0)与壳长(AB)、壳高(OH)、壳宽(SW)、壳厚(ST)的相关系数均达到极显著水平,因此以这 4 个性状作自变量对壳重作多元线性回归分析,回归方程如下:

(1) 紫踵劈蚌: $W_0 = 16.04 \times AB + 8.76 \times OH + 26.94 \times SW + 107.34 \times ST - 309.64$ ($R = 0.922$)

(2) 褶纹冠蚌: $W_0 = 14.84 \times AB + 2.53 \times OH - 6.98 \times SW + 213.02 \times ST - 167.34$ ($R = 0.936$)

(3) 三角帆蚌: $W_0 = 5.19 \times AB + 7.8 \times OH - 0.194 \times SW + 226.58 \times ST - 78.82$ ($R = 0.971$)

F 检验显示 3 个回归方程均达到显著水平 ($P < 0.001$)。

2.3 主成分分析 以 11 个形态比例性状作主成分分析,获得 PC1、PC2 两个主成分,具体见表 3。主成分 PC1 的方差贡献率为 66.90%, PC2 的贡献率为 33.10%,两个主成分的累计贡献率达到 100%。在第一主成分 PC1 中,除 ST/AB、OE/AB、FB/AB、FG/AB 4 个性状外,其他 7 个指标的贡献率均大于 79%,而 FA/AB 的贡献率最大;在第二主成分 PC2 中,则相反,前 4 个性状的贡献率均大于 97%,其他 7 个性状较低。说明用两个互相独立的因子能较好地反映 3 种育珠蚌的形态差异。

2.4 聚类分析 对所有样本 11 个形态比例性状进行 Q 型聚类分析,聚类结果显示:紫踵劈蚌与我国的褶纹冠蚌外部形态更为相近,两者的欧氏距离为 0.030;而与三角帆蚌之间较远,欧氏距离为 0.064。

表 3 三种淡水育珠蚌 11 个性状对 2 个主成分的负荷值及贡献率

Table 3 Loadings of two principal components of eleven characters of three freshwater pearl mussels and their contributive proportion

性状 Character	主成分 I (PC1)	主成分 II (PC2)
ST/AB	0.006	1.000
OH/AB	0.907	0.420
SW/AB	0.794	0.608
OA/AB	1.000	-0.025
OB/AB	-0.851	-0.525
OC/AB	0.997	0.074
OD/AB	-0.936	-0.352
OE/AB	0.142	0.990
FA/AB	-0.889	0.458
FB/AB	-0.171	-0.985
FG/AB	-0.216	-0.977
贡献率 Contributive proportion	0.669	0.331

黑色字体表示负荷值 > 0.85 。

Back font shows that loading value exceeds 0.85.

2.5 判别分析 通过逐步判别分析,从 11 个形态比例性状中筛选出 6 个性状建立两个判别函数,特征值分别为 7.329、3.405,对函数的显著性检验显示 $P < 0.001$ 。用 Fisher 方法分别建立了 3 种蚌的判别函数:

紫踵劈蚌: $Y_{Pa} = -265.766X_1 + 484.727X_2 + 626.458X_3 - 85.462X_4 + 97.840X_5 + 113.473X_6 - 277.171$

褶纹冠蚌: $Y_{Cp} = -1044.496X_1 + 509.132X_2 + 647.645X_3 + 26.655X_4 + 96.547X_5 + 75.718X_6 - 288.859$

三角帆蚌: $Y_{Hc} = -991.345X_1 + 402.004X_2 + 494.517X_3 - 74.212X_4 + 148.439X_5 + 102.090X_6 - 220.907$

式中, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 分别代表 ST/AB、OH/AB、SW/AB、OA/AB、OD/AB、FA/AB 6 个比例性状。

将所有观察样本的 6 个比例性状代入判别函数进行预测分类,以函数值最大的判别函数

所对应的蚌名作为判别结果,分别计算判别准确率。结果显示,3 种蚌的判别准确率均达到 100%(表 4)。因此,以上判别函数用于物种鉴别是完全可靠的。

表 4 判别函数对观测样本的预测分类及准确率

Table 4 Predicated classification of discriminant functions for observed specimens and their percentages of accuracy

种类 Species	数量 Number	准确率(%) Accuracy	预测分类 Predicated classification		
			紫踵劈蚌 <i>P. alatus</i>	褶纹冠蚌 <i>C. plicata</i>	三角帆蚌 <i>H. cuningii</i>
紫踵劈蚌 <i>P. alatus</i>	40	100	40	0	0
褶纹冠蚌 <i>C. plicata</i>	40	100	0	40	0
三角帆蚌 <i>H. cuningii</i>	40	100	0	0	40
总计 Total	120	100	40	40	40

3 讨论

判别分析作为一种实用性很强的分析方法,是在分类已知的条件下,寻找客观分类判别依据^[14]。魏开建等^[4]运用多变量形态度量学方法对我国的 5 种蚌进行形态判别,其综合判别率为 97.83%,而钱荣华等^[6]对中国五大湖的三角帆蚌的形态判别准确率为 81.73%;郑汉丰等^[9]对三角帆蚌与池碟蚌(*H. schlegeli*)自交、正反杂交 F_1 代的判别准确率为 57.46%。已有的研究发现贝壳的厚度与珍珠质分泌能力存在较强的相关性。因此,笔者在钱荣华等人^[6]的方法基础上,增加测量了壳厚数据,并采用逐步判别法从 11 个比例性状中筛选出 6 个主要性状,对 3 种淡水育珠蚌进行判别分析,其综合判别准确率达到 100%。同时也发现,在逐步判别的过程中,壳宽、壳厚及 OAC(壳顶位置)3 个比例性状最先进入判别函数,可见这 3 个性状在该判别函数中作用非常显著。

在主成分分析中,因子矩阵经方差极大法旋转后,两主成分的含义也比较明确,其中 PC1 可以概括为“壳顶位置因子”,即壳顶在贝壳壳长中轴及绞合部等的综合位置关系因子;PC2 则可以概括为“壳厚与壳翼位置综合因子”。这与双壳类的经典分类所采用的依据是比较一致的。因此,分析结果也进一步证明:多变量形态

度量学方法运用于贝类种间分类是可行的。目前,我国正在进行主要的农产品、畜禽、水产养殖品种的养殖和种质标准化建设。因此,多变量形态学方法在我国淡水珍珠蚌选育和鉴别标准制定上将发挥重要作用。

3 种多元分析方法的结果一致显示:紫踵劈蚌的外部形态与我国的褶纹冠蚌更为接近,与三角帆蚌较远。紫踵劈蚌属溪流性种类,主要栖息于泥沙或沙砾底质类型的河流中,而三角帆蚌和褶纹冠蚌多分布在泥底或淤泥中。双壳类贝壳的不同特征是其长期适应不同栖息环境的结果。紫踵劈蚌贝壳厚度明显高于同龄的三角帆蚌、褶纹冠蚌,推测其分泌珍珠质的速度可能高于后两者。从适宜育珠的性能来看,紫踵劈蚌个体较大,膨胀度与褶纹冠蚌相似,具备插大珠的潜力。因此,进一步开展紫踵劈蚌人工繁殖的研究对加快我国淡水珍珠养殖结构的调整具有重大意义。

参 考 文 献

[1] Hua D, Neves R J. Captive survival and pearl culture potential of the pink heelsplitter *Potamilus alatus*. *North American Journal of Aquaculture*, 2007 (In press).

[2] 张根芳,方爱萍. 21 世纪中国淡水珍珠产业的发展态势. *金华职业技术学院学报*, 2003, 3(4): 24~29.

[3] 谢玉坎,闵志勇. 我国珍珠研究进展. *莆田学院学报*, 2003, 10(3): 35.

- [4] 魏开建,熊邦喜,赵小红等.五种蚌的形态变异与判别分析.水产学报 2003 27(1):13~18.
- [5] 周晓农,洪青标,孙乐平等.中国钉螺螺壳的聚类分析.动物学杂志,1997,32(5):4~7.
- [6] 钱荣华,李家乐,董志国等.中国五大湖三角帆蚌形态差异分析.海洋与湖沼 2003 34(4):436~443.
- [7] 黎中宝,李少菁,王桂忠.中国东南沿海锯缘青蟹群体的形态判别分析.厦门大学学报,2004 43(1):102~106.
- [8] 张永普,林志华,应雪萍.不同地理种群泥蚶的形态差异与判别分析.水产学报,2004 28(3):339~342.
- [9] 郑汉丰,张根芳,李家乐等.三角帆蚌、池蝶蚌及其杂交 F_1 代早期形态差异分析.上海水产大学学报,2005,14(3):225~230.
- [10] Parmalee P W, Bogan A E. The Freshwater Mussels of Tennessee. Tennessee: The University of Tennessee Press, 1998.
- [11] Perkins K, Backlund D C. Freshwater mussels of the Missouri National Recreational River below Gavins Point Dam, South Dakota and Nebraska. South Dakota Dept. of Game, Fish and Parks Report 2000, 1.
- [12] 张尧庭,方开秦.多元统计分析引论.北京:科学出版社,1982,393~401.
- [13] 刘月英,张文珍,王耀先等.中国经济动物志——淡水软体动物.北京:科学出版社,1979,83~114.
- [14] 丁士晟.多元分析方法及其应用.长春:吉林人民出版社,1981,259~315,362~445.