

人工养殖斑鲈不同月龄表型性状的主成分与判别分析

平洪领¹, 张涛¹, 史会来^{1*}, 付铁中², 何杰¹,
李彬¹, 卢斌¹, 俞学军¹

(1. 浙江省海洋水产研究所, 浙江省海水增养殖重点实验室, 浙江 舟山 316021;

2. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316022)

摘要: 为研究斑鲈不同月龄表型性状的生长规律和特征, 及最佳生长季节各性状与月龄的关系。采用主成分和判别分析的方法对 2、4、6 和 8 月龄斑鲈的全长、体长、头长、躯干长、尾柄长、眼径、体高、尾柄高、体宽、眼间距和体重等 11 个性状进行分析。结果显示, 斑鲈不同月龄各性状指标间呈现不同程度的正相关, 各月龄的体重与全长、体长、体高和体宽的相关系数均较大, 眼径和眼间距 2 个性状与其他性状之间的相关系数均较小, 8 月龄各性状对体重的相关系数均小于 2、4 和 6 月龄。斑鲈不同月龄性状的主成分有所不同, 各月龄第一主成分均以增重、增长的生长发育特性为主; 第二主成分为 2 月龄指向体宽的发育情况, 4、6 和 8 月龄指向眼径发育情况; 第三主成分为 2 和 4 月龄反映头部发育情况, 6 月龄反映眼径发育情况, 8 月龄反映体宽的发育情况。通过逐步判别分析法, 剔除掉 3 个性状指标, 建立各月龄的判别函数式, 总的判别准确率为 99.3%, 2、4 和 8 月龄的判别准确率达到 100%。斑鲈 2~8 月龄的体长与体重的关系为 $W=0.017L^{2.929}$ ($R^2=0.981$)。研究表明, 全长、体长、体高和体宽是影响斑鲈生长发育最重要的表型性状指标, 建立了不同生长阶段的判别函数式, 生长方式为等速生长 (2~8 月龄)。本研究为斑鲈的选择育种工作提供理论依据和建议测量指标。

关键词: 斑鲈; 表型性状; 主成分分析; 判别分析

中图分类号: S 965.3

文献标志码: A

斑鲈(*Konosirus punctatus*) 隶属鲱形目 (Clupeiformes) 鲱科 (Clupeidae) 斑鲈属 (*Konosirus*), 是我国近岸沿海常见的低营养级小型经济鱼类。在我国沿海均有分布, 主要栖息在内湾浅海区, 海湾和河口较多。斑鲈适盐范围广、肉质鲜美、生长速率快, 当年就可以达到商品规格, 深受消费者和养殖户的喜爱, 是海水鱼类养殖的优良品种之一^[1]。自 20 世纪 60 年代起在我国沿海开始港塍养殖^[2], 到人工繁育技术的突破^[3-4], 养殖模式开发^[5],

再到利用其低营养级的滤食习性开展规模化增殖放流^[1,6]。斑鲈在我国水产捕捞、养殖和渔业资源环境修复方面发挥重要作用。

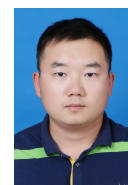
目前, 选育方面的研究工作主要集中在养殖效益高的经济品种, 而一些具有重要生态价值的鱼类, 还未见选育方面的研究报道, 关于表型性状关系分析方面的研究工作更显得薄弱。在鱼类育种工作中, 由于亲鱼个体成熟度或者亲和力存在差异, 导致有些家系错过了最佳生长季节, 这

收稿日期: 2021-11-11 修回日期: 2021-12-25

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901204, 2019YFD0901205); 浙江省重点研发计划 (2019C02056); 舟山市科技计划项目 (2017C32071)

第一作者: 平洪领 (照片), 从事海水鱼类繁育与发育研究, E-mail: pinghongling@126.com

通信作者: 史会来, 从事海水鱼类遗传育种研究, E-mail: shihuilai1980@163.com



些家系需要通过与其个体大小所相符的月龄进行判断^[7]。同时可以检验育种中是否保持了饲养条件的一致性^[8]。主成分分析是一种“降维”方法, 将相关性的几个指标转化成少数几个综合指标的统计分析方法^[9]。已应用在翘嘴鳊 (*Siniperca chuatsi*)^[8]、褐点石斑鱼 (*Epinephelus fuscoguttatus*)^[10] 和许氏平鲉 (*Sebastes schlegelii*)^[11] 等多种水产动物不同生长阶段的选育研究, 不同月龄的主成分会有所不同, 在开展选育工作时更加明确了主选性状。判别分析是在已知研究分成若干类型 (或组别) 并已取得各种类型的一批已知样品的观测数据, 在此基础上根据某些准则建立判别式, 然后对未知类型的样品进行判别分类^[12]。判别分析常用于研究三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*)^[13]、中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*)^[14] 和凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)^[15] 等不同地理种群的形态差异分析, 白斑狗鱼 (*Esox lucius*) 与黑斑狗鱼 (*E. reicherti*) 的形态判别^[16], 尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[7] 不同月龄的形态判别。本研究通过主成分分析不同月龄斑鲮表型性状的变化, 研究不同阶段生长指标主成分载荷因子的变化规律。通过判别分析可推断错过最佳生长季节的斑鲮与实际大小相符的月龄, 有助于开展斑鲮不同月龄的选育工作。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验亲鱼来源于舟山渔场的野生群体, 5月将捕获的斑鲮亲鱼暂养于浙江省海洋水产研究所海水增殖重点实验室的水泥池中。选择 80~110 g 的有活力、体表无伤的性成熟个体作为亲体, 将 50 尾雌鱼与 50 尾雄鱼放入同一池中自由交尾, 收集同一天产出的受精卵单独孵化培育。斑鲮的养殖用水为自然海水, 经沉淀、砂滤、紫外消毒后使用, 自然水温、海水盐度 24~26、溶解氧 4~6 mg/L、pH 值 7.2~8.5、亚硝酸盐低于 0.1 mg/L、氨氮低于 0.08 mg/L, 实验期间各阶段的饲养管理方法保持相同水平。实验过程中操作人员严格遵守实验动物福利伦理规范。

1.2 测量方法

数据采集时间为 8 月至次年 2 月, 对应斑鲮 2~8 月龄。每隔 2 月随机选取斑鲮 80~100 尾, 用

25 mg/L 的 MS-222 进行麻醉处理, 然后测量全长 (total length, X_1 , mm)、体长 (body length, X_2 , mm)、头长 (head length, X_3 , mm)、躯干长 (trunk length, X_4 , mm)、尾柄长 (caudal peduncle length, X_5 , mm)、眼径 (eye diameter, X_6 , mm)、体高 (body height, X_7 , mm)、尾柄高 (caudal peduncle height, X_8 , mm)、体宽 (body width, X_9 , mm) 和眼间距 (interorbital distance, X_{10} , mm), 称量体重 (body mass, X_{11} , g), 共获得 11 个性状的数据。采用数显卡尺测量长度性状, 精确度为 0.01 mm, 使用电子天平称量体重, 精确度为 0.01 g。

1.3 数据分析

原始数据的标准化转化 由于原始数据的度量单位不同, 不能在同一水平上进行比较分析, 必须对原始数据按下式标准化处理, 消除原始数据中量纲不同造成的影响, 符合标准正态分布, 且这种数据转换方式不会改变各变量间的相关性。

$$x^* = (x - \mu) / \sigma$$

式中, x^* 为标准化后的数据, x 为原始数据, μ 为原始数据的平均值, σ 为原始数据的标准差。

主成分的选取 用 Jacobi 法^[9] 求出全长 X_1 、体长 X_2 、头长 X_3 、躯干长 X_4 、尾柄长 X_5 、眼径 X_6 、体高 X_7 、尾柄高 X_8 、体宽 X_9 、眼间距 X_{10} 和体重 X_{11} 等 11 个测试指标中的相关阵的特征值、累积贡献率及特征向量。为保留原多维空间的信息量并简化计算, 选择 k 个较大特征值 λ , 使累计贡献率 $\geq 85\%$ 作为入选的主成分, 基本涵盖斑鲮原始形态性状的全部遗传信息。

判别分析 用软件 SPSS 19.0 进行处理数据, 把斑鲮的生长数据按月龄分为 4 组, 用逐步判别的分析方法, 对 11 个性状指标进行逐步剔除, 保留判别能力显著的性状指标, 以此建立 4 个不同月龄斑鲮的判别函数式, 本研究采用自身验证法, 将原始样本依次代入判别函数, 查看判别准确率。用所建立的判别函数对斑鲮不同月龄的测试样品数据进行回判分析。将斑鲮入选的性状指标的数值分别代入上述 4 个判别函数式, 得到对应的 4 个函数值, 根据 Bayes 判别法则^[12], 将该待判样品判入函数值最大的判别函数对应的月龄。判别准确率的公式:

判别准确率 ($P, \%$) = 判别正确的某月龄斑鲮尾数 / 实际某月龄斑鲮尾数 $\times 100\%$

体长与体重的关系 将本研究所测量的

2~8月龄的斑鲮共计367尾,作为斑鲮不同生长阶段的一个样本群体,研究其体重与体长的关系。鱼类体重与体长的关系公式为 $W=aL^b$,其中 W 为体重(g), L 为体长(mm), a 、 b 为常数。通过SPSS 19.0软件进行曲线拟合, b 值反映鱼类生长发育的均匀性,可用来判断鱼类在某个生长阶段的速率^[17];若 $b=3$ 或者接近3,则认为该鱼类为等速生长;若 $b<3$,则为负异速生长;若 $b>3$,则为正异速生长^[18]。

2 结果

2.1 斑鲮不同月龄表型性状参数及其相关性

各月龄形态性状指标统计结果显示,斑鲮各月龄的11个性状参数中体重的变异系数均最大,2、4、6和8月龄分别为23.62%、15.67%、13.10%、13.74%,说明体重的选择潜力较大。各月龄体重的标准差依次增大,说明群体内个体间的体重随着生长而差异越来越大(表1)。

由相关系数矩阵可知,斑鲮不同月龄各性状指标间呈现不同程度的正相关(图1)。不同月龄的体重与全长、体长、体高和体宽的相关系数均较大,2月龄体重与体长相关系数最大(0.953),4月龄体重与全长相关系数最大(0.934),6月龄体重与体高相关系数最大(0.948),8月龄体重与体宽相关系数最大(0.878)。眼径和眼间距2个性状与其他性状之间的相关系数均较小。8月龄各性状对体重的相关系数均小于2、4和6月龄。

2.2 斑鲮不同月龄表型性状的主成分分析

2、4、6和8月龄斑鲮11个表型性状参数相关矩阵的特征值和累计贡献率见图2。将11个原始指标降维,以主成分累计贡献率大于85.0%为要求,2月龄提取3个主成分,累计贡献率达到88.9%,4、6和8月龄均提取4个主成分,累计贡献率分别达到87.6%、85.7%和88.3%。为便于比较,表4仅列举4、6和8月龄的前3个主成分。

2月龄的第一主成分主要反映的性状是体重、全长和体长,以增重、增长为主的生长发育特性;第二主成分主要反映体宽的发育特征;第三主成分特征向量值最大为眼间距,反映头部发育情况(表2)。4月龄第一主成分也以增重、增长为主的生长发育特性;第二主成分特征向量值最大为眼径,反映眼径发育情况;第三主成分特征向量值最大为眼间距,反映头部发育情况。6月龄第一主成分也以增重、增长为主的生长发育特性;第二主成分和第三主成分特征向量值最大均为眼径,都是反映眼径发育情况。8月龄第一主成分主要反映的性状是体重、全长和体高,增重、增长和增高生长发育为主;第二主成分特征向量值最大为眼径,反映眼径发育情况;第三主成分特征向量最大为体宽,反映体宽的发育情况,对不同月龄的主成分命名见表3。

2.3 斑鲮不同月龄形态性状的判别分析

通过逐步判别分析的方法,将斑鲮不同月龄的11个性状指标逐步剔除后,保留判别能力显著

表1 不同月龄斑鲮体重与表型性状的描述性统计

Tab. 1 Descriptive statistics for the body mass and morphometric traits of *K. punctatus* at different ages

| 性状 traits | 2月龄 2 month | | 4月龄 4 month | | 6月龄 6 month | | 8月龄 8 month | |
|--------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | mean±SD | CV/% | mean±SD | CV/% | mean±SD | CV/% | mean±SD | CV/% |
| X_{11} /g | 2.54±0.60 | 23.62 | 9.89±1.55 | 15.67 | 18.92±2.48 | 13.10 | 28.04±3.85 | 13.74 |
| X_1 /mm | 70.13±4.83 | 6.89 | 101.32±5.43 | 5.35 | 129.63±5.02 | 3.87 | 155.49±6.11 | 3.93 |
| X_2 /mm | 56.95±4.03 | 7.07 | 84.98±4.87 | 5.73 | 111.96±3.42 | 3.05 | 129.22±5.60 | 4.34 |
| X_3 /mm | 18.17±1.52 | 8.36 | 23.36±1.21 | 5.16 | 32.98±1.18 | 3.58 | 33.79±1.38 | 4.08 |
| X_4 /mm | 22.52±1.73 | 7.68 | 37.41±2.53 | 6.76 | 52.75±1.62 | 3.07 | 52.55±3.78 | 7.20 |
| X_5 /mm | 16.47±1.52 | 9.22 | 25.91±1.67 | 6.44 | 37.12±2.03 | 5.47 | 43.00±2.14 | 4.98 |
| X_6 /mm | 5.29±0.39 | 7.37 | 6.20±0.31 | 4.92 | 12.44±0.34 | 2.74 | 8.35±0.34 | 4.09 |
| X_7 /mm | 16.66±1.32 | 7.92 | 25.07±1.54 | 6.16 | 36.68±1.52 | 4.13 | 38.32±1.77 | 4.63 |
| X_8 /mm | 5.32±0.44 | 8.27 | 8.22±0.58 | 7.10 | 14.59±0.39 | 2.69 | 11.36±0.59 | 5.19 |
| X_9 /mm | 5.62±0.67 | 11.92 | 9.99±0.76 | 7.57 | 17.22±1.08 | 6.26 | 12.34±0.88 | 7.14 |
| X_{10} /mm | 4.01±0.39 | 9.72 | 8.68±0.56 | 6.41 | 15.53±0.70 | 4.49 | 11.51±0.85 | 7.39 |

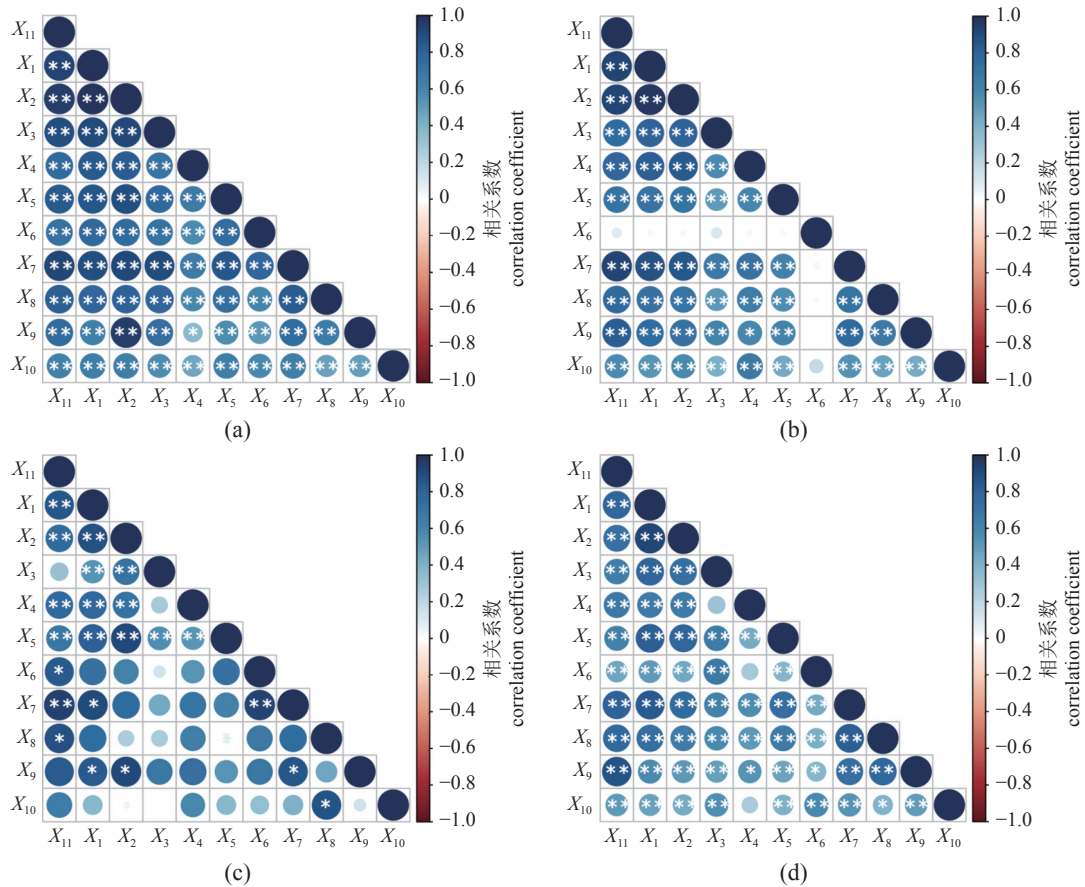


图 1 不同月龄斑鲈各性状的相关系数

(a) 2月龄, (b) 4月龄, (c) 6月龄, (d) 8月龄, 图2同。“***”表示相关性极显著 ($P < 0.01$), “**”表示相关性显著 ($P < 0.05$)。

Fig. 1 Correlation coefficient between the traits of *K. punctatus* at different ages

(a) two months old, (b) four months old, (c) six months old, (d) eight months old, the same as Fig.2. “***” denotes extremely significant correlation ($P < 0.01$), “**” denotes significant correlation ($P < 0.05$).

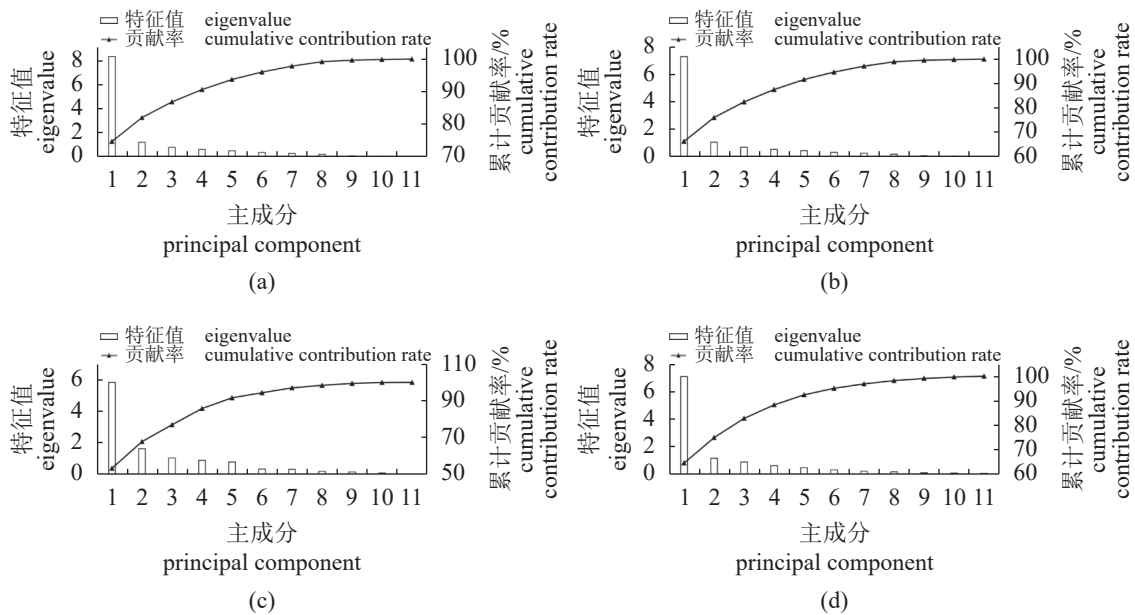


图 2 不同月龄斑鲈表型性状的特征值和累计贡献率

Fig. 2 Eigenvalue and cumulative contribution rate of morphological traits of *K. punctatus* at different ages

表 2 不同月龄斑鲦入选主成分的特征向量

Tab. 2 Principal component eigenvector of *K. punctatus* different ages

| 月龄 months | 主成分 principal component | 特征向量 principal component eigenvector | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| | | X_{11} | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} |
| 2月龄 2 months | 1 | 0.966 | 0.969 | 0.979 | 0.929 | 0.780 | 0.898 | 0.805 | 0.959 | 0.850 | 0.740 | 0.696 |
| | 2 | 0.051 | -0.148 | -0.107 | 0.105 | -0.487 | -0.109 | -0.116 | 0.117 | 0.183 | 0.597 | -0.055 |
| | 3 | -0.089 | -0.075 | -0.074 | -0.138 | -0.249 | 0.113 | 0.230 | 0.006 | -0.210 | -0.015 | 0.648 |
| 4月龄 4 months | 1 | 0.972 | 0.964 | 0.959 | 0.785 | 0.859 | 0.785 | 0.063 | 0.912 | 0.795 | 0.826 | 0.655 |
| | 2 | 0.004 | -0.105 | -0.046 | 0.044 | -0.045 | 0.064 | 0.969 | -0.040 | -0.057 | -0.105 | 0.331 |
| | 3 | 0.086 | 0.071 | 0.027 | 0.295 | -0.343 | 0.085 | 0.198 | 0.069 | -0.028 | 0.214 | -0.623 |
| 6月龄 6 months | 1 | 0.863 | 0.948 | 0.961 | 0.652 | 0.754 | 0.875 | 0.412 | 0.419 | 0.522 | 0.850 | -0.403 |
| | 2 | 0.403 | 0.075 | -0.132 | -0.579 | 0.368 | -0.182 | 0.826 | 0.109 | -0.015 | -0.331 | 0.392 |
| | 3 | 0.109 | 0.071 | 0.074 | -0.107 | -0.116 | 0.174 | -0.774 | -0.033 | 0.204 | 0.232 | 0.492 |
| 8月龄 8 months | 1 | 0.900 | 0.934 | 0.879 | 0.801 | 0.674 | 0.806 | 0.609 | 0.903 | 0.844 | 0.780 | 0.620 |
| | 2 | -0.179 | -0.053 | -0.082 | 0.401 | -0.436 | -0.033 | 0.629 | -0.130 | -0.187 | -0.187 | 0.516 |
| | 3 | 0.245 | -0.286 | -0.354 | -0.213 | 0.026 | 0.387 | 0.082 | 0.062 | 0.128 | 0.529 | 0.316 |

表 3 斑鲦不同月龄性状的主成分

Tab. 3 Principal component of traits of *K. punctatus* different ages

| 月龄 months | 第一主成分 first principal component | 第二主成分 second principal component | 第三主成分 third principal component |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 2月龄 2 months | 增长、增重因子 | 体宽发育 | 头部发育 |
| 4月龄 4 months | 增长、增重因子 | 眼径发育 | 头部发育 |
| 6月龄 6 months | 增长、增重因子 | 眼径发育 | 眼径发育 |
| 8月龄 8 months | 增长、增重、增高因子 | 眼径发育 | 体宽发育 |

的 8 个性状指标 (全长 X_1 、躯干长 X_4 、尾柄长 X_5 、眼径 X_6 、尾柄高 X_8 、体宽 X_9 、眼间距 X_{10} 和体重 X_{11})。建立不同月龄斑鲦的判别函数公式:

2 月龄: $Y_2 = -255.400 + 4.358X_1 + 1.952X_4 - 2.975X_5 + 35.567X_6 + 2.921X_8 + 1.945X_9 + 4.792X_{10} - 10.423X_{11}$

4 月龄: $Y_4 = -431.560 + 4.816X_1 + 3.721X_4 - 2.466X_5 + 34.395X_6 + 4.874X_8 + 3.533X_9 + 16.422X_{10} - 13.531X_{11}$

6 月龄: $Y_6 = -510.655 + 5.753X_1 + 3.464X_4 - 2.268X_5 + 39.815X_6 + 1.751X_8 + 2.561X_9 + 13.035X_{10} - 12.861X_{11}$

8 月龄: $Y_8 = -679.955 + 6.913X_1 + 2.019X_4 - 0.245X_5 + 40.179X_6 + 1.733X_8 - 2.358X_9 + 16.047X_{10} - 11.565X_{11}$

将斑鲦 8 个性状特征值分别代入上述 4 个判别函数公式, 可获得 4 个数值, 所得函数值最大的判别函数式所对应的月龄为该个体的判别月龄。将所有观测值按照上述方法进行判别分析, 结果见表 4。观测样本的总判别准确率为 99.3%, 其中 2、4 和 8 月龄的判别准确率均为 100%, 6 月龄中有 3 尾错判到 4 月龄, 判别准确率为 96.7%。

表 4 判别函数式对观测样本的预测分类及准确率

Tab. 4 Predicted classification of discriminant functions for observed specimens and its accuracy in percentage

| 月龄 months | 数量/尾 number | 准确率/% accuracy rate | 预测分类 predicted classification | | | |
|--------------|----------------|------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | 2月龄 2 months | 4月龄 4 months | 6月龄 6 months | 8月龄 8 months |
| 2 | 100 | 100.0 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 85 | 100.0 | 0 | 85 | 0 | 0 |
| 6 | 90 | 96.7 | 0 | 3 | 87 | 0 |
| 8 | 92 | 100.0 | 0 | 0 | 0 | 92 |
| 合计 total | 367 | 99.3 | 100 | 88 | 87 | 92 |

2.4 斑鲮体长与体重的关系

对 367 尾 2~8 月龄斑鲮的体长和体重进行测量, 并拟合生长曲线 (图 3), 体长与体重呈幂函数正相关: $W=0.017L^{2.929}$ ($R^2=0.981$), $b=2.929$, 接近于 3, 2~8 月龄的生长方式为等速生长。

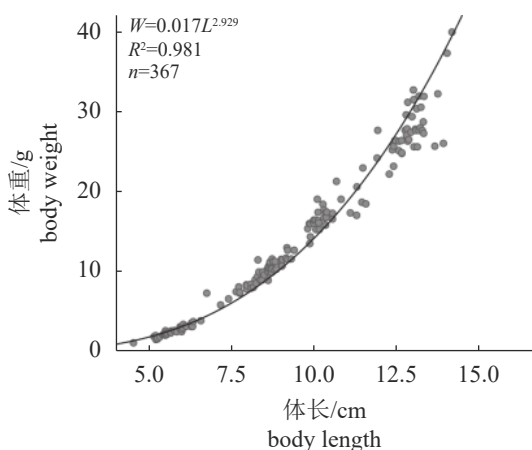


图 3 斑鲮的体长与体重的关系

Fig. 3 Relationship between body length and body weight of *K. punctatus*

3 讨论

3.1 表型性状与体重的相关性

相关分析已广泛应用于畜牧业选育工作^[19-21], 在水产动物中, 特别是在鱼类^[8, 10]和甲壳类^[22-24]中已有不少报道。增加体重是水产动物重要的选育目标之一, 但是直接进行目标性状的改良难以取得预期效果, 通过其他相关性较高的目标性状进行间接选育则能获得较好的效果^[25]。已有研究表明, 随着鱼类的生长, 会表现出表型性状与体重的相关度不同^[10]。

通过对不同月龄斑鲮表型性状与体重的相关性分析, 不同月龄各表型性状与体重的相关性存在差异, 全长、体长与体重的相关性均随月龄的增长而降低, 而体宽则相反, 随着月龄增加, 相关性也随之增大。斑鲮 2 月龄体长与体重相关系数最大 (0.953), 体长对体重的影响则最大, 4 月龄对体重影响最大的为全长, 6 月龄是体高, 8 月龄则是体宽。这可能是由于身体早期生长阶段主要增长体长, 生长后期到达成鱼阶段则储存营养, 身体变得更加厚实, 主要增长体宽。已有研究报告, 卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*)^[26] 的 1 月龄和 4 月龄全长对体重影响最大, 而 7~13 月龄则为体高。尼罗罗非鱼^[7] 的 2 和 3 月龄体长与体重的相关系

数最大, 4 和 5 月龄则为体高对体重影响最大。云龙石斑鱼 [*E. moara* (♀)×*E. lanceolatus* (♂)]^[27] 的 4 和 9 月龄的全长与体重相关性最高, 而 15 月龄体高与体重相关性最高。上述结果与本研究一致, 不同月龄群体的表型性状对体重的影响不是固定的, 一般早期阶段的全长、体长与体重相关性较大, 而到达生长后期, 即达到商品规格时, 体高对体重的影响较大。

3.2 主成分分析的关键因子选择

在实际研究中, 会有多指标或多变量测定问题, 这些不同指标之间存在一定的相关性, 为了正确整理这些错综复杂的关系, 可用多元统计的方法来处理, 主成分分析就是用少数几个综合指标代表众多指标, 这些主成分彼此不相关, 又能综合反映原来多个指标的大部分信息, 是一种“降维”的概念^[28]。在鱼类选育过程中, 人们希望性状个数较少而得到较多选育信息, 主成分分析方法得到很好的应用。吴水清等^[27] 对不同月龄云龙石斑鱼表型性状主成分分析发现, 4 和 9 月龄第一主成分为增重和增长因子, 15 月龄第一主成分为增重、增长和体高因子; 第二主成分均为尾柄因子。黄建盛等^[10] 对褐点石斑鱼不同月龄形态性状主成分分析显示, 3、8 和 13 月龄第一主成分均指向增重和增长因子, 第二主成分均为眼径因子, 第三主成分均有所不同。唐瞻杨等^[7] 对尼罗罗非鱼不同月龄性状的主成分分析表明, 2~5 月龄第一主成分均为增重因子, 第二主成分的 2~4 月龄为尾柄因子, 而 5 月龄为躯干因子。本研究中, 斑鲮 2、4、6 和 8 月龄的第一主成分均以增重和增长因子为主, 8 月龄还包括增高因子; 第二主成分的 2 月龄为体宽因子, 4、6 和 8 月龄均为眼径因子; 第三主成分的 2 和 4 月龄为眼间距因子, 6 月龄为眼径因子, 8 月龄为体宽因子。说明在斑鲮生长发育过程中, 早期阶段以体重和体长增长最快, 眼径次之, 随着不断生长, 体高和体宽生长速率加快。因此, 在斑鲮选育过程中, 要把体重、全长和体长作为主选性状。

3.3 适用判别分析的前提条件

判别分析是对已知研究分为若干类型 (或组别) 并已取得各种类型的一批已知样品的观测数据, 在此基础上根据某些准则建立判别式, 然后对未知类型的样品进行判别分类^[12]。判别函数的建立来自于已知样品数据, 首先要降低样本数据的系统误差和数据收集的准确性^[7]。这就要求实验动

物在各月龄的养殖过程中条件一致, 降低系统误差, 同时保障充足的样本量。另外, 在建立判别函数式时, 考虑到影响判别结果的性状变量较多, 变量之间也会存在线性相关的问题^[29], 故采用逐步剔除法, 剔除判别能力不显著的性状指标, 本研究初始有 11 个性状指标, 采用逐步判别分析法后, 剔除掉体长、头长和体高 3 个性状指标, 不仅简化了判别函数, 而且避免了因变量间的相关性可能导致判别函数不稳定的问题。窦亚琪等^[8]对翘嘴鲌 (*Siniperca chuatsi*) 的判别分析中, 剔除掉 3 个性状指标, 总判别准确率为 98.49%。李培伦等^[29]对马苏大麻哈鱼 (*Oncorhynchus masou*) 的判别分析中, 剔除掉 2 个性状指标, 总判别准确率为 96.7%。何铜等^[30]对凡纳滨对虾和唐瞻杨等^[7]对尼罗罗非鱼的判别分析均没有性状指标被剔除, 总判别准确率分别为 98.98% 和 99.25%。上述研究表明, 采用逐步判别分析后。无论有无性状指标被剔除, 总的判别准确率都较高, 建立的判别函数效果较好。本研究的判别结果表明, 2、4 和 8 月龄的判别准确率均为 100%, 6 月龄的判别准确率为 96.7%, 样本总判别准确率为 99.3%。说明判别分析效果较好, 可信度较高。但在使用判别分析函数时还要考虑地理种群的差异性, 孙成波等^[15]对美国 4 个凡纳滨对虾种群进行了判别分析, 高保全等^[13]对三疣梭子蟹 4 个野生群体进行了区分, 张永普等^[31]对不同地理种群泥蚶 (*Tegillarca granosa*) 进行判别分析。此外, 也有研究表明, 大量鱼类存在雌雄二态性现象, 如大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)^[32]、日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*)^[33] 和半滑舌鳎 (*Cynoglossus semilaevis*)^[34] 等雌雄形态存在明显差异。张富斌^[35]探讨了嘉陵江上游唇鲮 (*Hemibarbus labeo*) 两性异形及其与年龄的关系, 唇鲮的躯干部性状中, 3 龄和 4 龄的雌性个体显著大于雄性个体的形态性状数量较 2 龄有所增加。因此, 在应用判别分析时, 也要了解研究对象是否存在雌雄二态性, 并探讨其与月龄或年龄的关联。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 单乐州, 马建忠, 邵鑫斌, 等. 乐清湾斑鲮人工繁殖和育苗技术研究[J]. 水产科技情报, 2020, 47(3): 130-134. Shan L Z, Ma J Z, Shao X B, et al. Study on the technique of artificial propagation and larva nursery of *Clupanodon punctatus* in Yueqing Bay[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2020, 47(3): 130-134 (in Chinese).
- [2] 朱元鼎, 张春霖, 成庆泰. 东海鱼类志 [M]. 北京: 科学出版社, 1963: 102-103. Zhu Y D, Zhang C L, Cheng Q T. East China Sea fishes[M]. Beijing: Science Press, 1963: 102-103 (in Chinese).
- [3] 陈大刚, 刘国祥, 董广君, 等. 斑鲮人工繁殖与鱼苗培育的初步试验[J]. 动物学报, 1977, 23(1): 22-29. Chen D G, Liu G X, Dong G J, et al. Preliminary experiments on the artificial breeding and fry rearing of gizzardshads *Clupanodon punctatus* (Temminck and Schlegel)[J]. Acta Zoologica Sinica, 1977, 23(1): 22-29 (in Chinese).
- [4] 蔡子超, 常珠传, 见蓝田, 等. 斑鲮工厂化育苗技术研究[J]. 海洋科学, 1993(1): 11-13. Cai Z C, Chang Z Z, Jian L T, et al. Study on factory seedling technology of *Clupanodon punctatus*[J]. Marine Science, 1993(1): 11-13 (in Chinese).
- [5] 平洪领, 史会来, 张涛, 等. 南美白对虾和斑鲮池塘混养技术[J]. 科学养鱼, 2021(6): 62-63. Ping H L, Shi H L, Zhang T, et al. Mixed culture technology of *Litopenaeus vannamei* and *Clupanodon punctatus*[J]. Scientific Fish Farming, 2021(6): 62-63 (in Chinese).
- [6] 单乐州, 张立宁, 邵鑫斌, 等. 斑鲮人工增殖放流操作技术[J]. 水产养殖, 2020, 41(11): 56-57. Shan L Z, Zhang L N, Shao X B, et al. Artificial breeding and venting operation technology of *Clupanodon punctatus*[J]. Journal of Aquaculture, 2020, 41(11): 56-57 (in Chinese).
- [7] 唐瞻杨, 肖俊, 李莉萍, 等. 尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)不同月龄性状的主成分与判别分析[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(2): 288-293. Tang Z Y, Xiao J, Li L P, et al. Principal component and discriminant analyses of traits of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different ages[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(2): 288-293 (in Chinese).
- [8] 窦亚琪, 梁旭方, 易提林, 等. 翘嘴鲌不同月龄性状的主成分与判别分析[J]. 中国水产科学, 2014, 21(6): 1116-1124. Dou Y Q, Liang X F, Yi T L, et al. Principal component and discriminant analyses of traits of *Siniperca chuatsi* at different ages[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(6): 1116-1124.

- 2014, 21(6): 1116-1124 (in Chinese).
- [9] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008: 150-155.
He X Q. Multivariate statistical analysis[M]. Beijing: Chinese People's University Press, 2008: 150-155 (in Chinese).
- [10] 黄建盛, 陈刚, 张健东, 等. 褐点石斑鱼不同月龄形态性状形状的主成分及通径分析[J]. 水产学报, 2017, 41(7): 1105-1115.
Huang J S, Chen G, Zhang J D, et al. Principal component and path analysis of morphological traits of *Epinephelus fuscoguttatus* at different month ages[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(7): 1105-1115 (in Chinese).
- [11] 韩慧宗, 姜海滨, 王斐, 等. 许氏平鲈不同月龄选育群体形态性状的主成分与通径分析[J]. 水产学报, 2016, 40(8): 1163-1172.
Han H Z, Jiang H B, Wang F, et al. Principal component and path analysis of morphological traits of selective groups at different month ages of *Sebastes schlegelii*[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(8): 1163-1172 (in Chinese).
- [12] 贾丽艳, 杜强. SPSS 统计分析标准教程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 280-297.
Jia L Y, Du Q. SPSS statistical analysis standard tutorial[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2010: 280-297 (in Chinese).
- [13] 高保全, 刘萍, 李健, 等. 三疣梭子蟹4个野生群体形态差异分析[J]. 中国水产科学, 2007, 14(2): 223-228.
Gao B Q, Liu P, Li J, et al. Analysis of morphological variations among four wild populations of *Portunus trituberculatus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(2): 223-228 (in Chinese).
- [14] 郑朝臣, 姜涛, 骆仁军, 等. 不同产地中华绒螯蟹形态差异的地标点法分析[J]. 水产学报, 2017, 41(12): 1896-1907.
Zheng C C, Jiang T, Luo R J, et al. Landmark-based morphometric identification of different geographical origins for the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(12): 1896-1907 (in Chinese).
- [15] 孙成波, 陈国良, 童汉荣, 等. 美国4个凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 种群形态差异与判别分析[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(1): 27-32.
Sun C B, Chen G L, Tong H R, et al. Morphological differences of four imported *Litopenaeus vannamei* groups from the united states[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(1): 27-32 (in Chinese).
- [16] 霍堂斌, 袁美云, 马波, 等. 白斑狗鱼与黑斑狗鱼的形态差异与判别分析[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(3): 253-259.
Huo T B, Yuan M Y, Ma B, et al. Morphological variations and discrimination between northern pike *Esox lucius* and Amur pike *E. reicherti*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(3): 253-259 (in Chinese).
- [17] Ricker W E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations[R]. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1975: 1-382.
- [18] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 50-60.
Yin M C. Fish ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 50-60 (in Chinese).
- [19] 裴杰, 王宏博, 褚敏, 等. 无角牦牛体尺性状对体重影响的通径分析[J]. 生物技术通报, 2018, 34(6): 102-108.
Pei J, Wang H B, Chu M, et al. Analysis of effects of body sizes on the weight of polled yak[J]. Biotechnology Bulletin, 2018, 34(6): 102-108 (in Chinese).
- [20] 陆会宁, 刘妍妍, 张丽, 等. 兰州大尾羊×小尾寒羊F1代体重和体尺的相关性研究[J]. 中国畜牧兽医, 2019, 46(6): 1628-1635.
Lu H N, Liu Y Y, Zhang L, et al. Correlation analyses between body weight and body sizes of F₁ hybrid of Lanzhou Fat-tailed sheep × Small-tailed Han sheep[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2019, 46(6): 1628-1635 (in Chinese).
- [21] 陶林, 杨红远, 江炎庭, 等. 云上黑山羊体尺性状对体重影响的通径分析[J]. 家畜生态学报, 2020, 41(7): 18-22.
Tao L, Yang H Y, Jiang Y T, et al. Path analysis on effects of body size traits on body weight of Yunshang black goat[J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2020, 41(7): 18-22 (in Chinese).
- [22] 安丽, 刘萍, 李健, 等. “黄海1号”中国明对虾形态性状对体质量的影响效果分析[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 779-786.
An L, Liu P, Li J, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric traits on body weight for *Fenneropenaeus chinensis* named “Yellow Sea No. 1”[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(5): 779-786 (in Chinese).
- [23] 唐琼英, 夏正龙, 蔡缪荧, 等. 罗氏沼虾养殖群体表型性状间的相关性及类群差异分析[J]. 中国水产科学, 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- 2019, 26(6): 1075-1085.
- Tang Q Y, Xia Z L, Cai M Y, *et al.* Correlation and difference of phenotypic traits among cultured groups of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(6): 1075-1085 (in Chinese).
- [24] 刘磊, 李健, 高保全, 等. 三疣梭子蟹不同日龄生长性状相关性及其对体重的影响[J]. 水产学报, 2009, 33(6): 964-971.
- Liu L, Li J, Gao B Q, *et al.* Correlation of growth traits of *Portunus trituberculatus* at the different ages and its impact on body weight[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(6): 964-971 (in Chinese).
- [25] 何小燕, 刘小林, 白俊杰, 等. 大口黑鲈形态性状对体重的影响效果分析[J]. 水产学报, 2009, 33(4): 597-603.
- He X Y, Liu X L, Bai J J, *et al.* Mathematical analysis of effects of morphometric attribute on body weight of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(4): 597-603 (in Chinese).
- [26] 区又君, 吉磊, 李加儿, 等. 卵形鲳鲹不同月龄选育群体主要形态性状与体质量的相关性分析[J]. 水产学报, 2013, 37(7): 961-969.
- Ou Y J, Ji L, Li J E, *et al.* Correlation analysis of major morphometric traits and body weight of selective group at different month ages of *Trachinotus ovatus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(7): 961-969 (in Chinese).
- [27] 吴水清, 罗辉玉, 张哲, 等. 不同月龄云龙石斑鱼表型性状的主成分与通径分析[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(5): 680-687.
- Wu S Q, Luo H Y, Zhang Z, *et al.* Principal component and path analysis of phenotypic traits of Yunlong grouper with different month ages[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(5): 680-687 (in Chinese).
- [28] 张力. SPSS19.0(中文版) 在生物统计中的应用 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2013: 167-175.
- Zhang L. Application of SPSS19.0 statistical software in biostatistics[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2013: 167-175 (in Chinese).
- [29] 李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 马苏大麻哈鱼不同月龄表型性状的主成分与判别分析[J]. 水产科学, 2017, 36(6): 707-713.
- Li P L, Liu W, Wang J L, *et al.* Principal component analysis of morphometric traits of Masou salmon *Oncorhynchus masou* at different month ages[J]. Fisheries Science, 2017, 36(6): 707-713 (in Chinese).
- [30] 何铜, 刘小林, 杨长明, 等. 凡纳滨对虾各月龄性状的主成分与判别分析[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2134-2142.
- He T, Liu X L, Yang C M, *et al.* Principal component and discriminant analyses of traits of *Litopenaeus vannamei* at different ages[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 2134-2142 (in Chinese).
- [31] 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[J]. 水产学报, 2004, 28(3): 339-342.
- Zhang Y P, Lin Z H, Ying X P. Morphological variations and discriminant analysis of different geographical populations of *Tegillarca granosa*[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(3): 339-342 (in Chinese).
- [32] 谌微, 王盼盼, 肖世俊, 等. 大黄鱼形态指标体系及雌雄差异分析[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2014, 19(6): 401-408.
- Chen W, Wang P P, Xiao S C, *et al.* Analysis of morphological index system and sexual differences of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. Journal of Jimei University (Natural Science Edition), 2014, 19(6): 401-408 (in Chinese).
- [33] 郭弘艺, 魏凯, 谢正丽, 等. 长江口银色鳗的形态指标体系及其雌雄鉴别[J]. 水产学报, 2011, 35(1): 1-9.
- Guo H Y, Wei K, Xie Z L, *et al.* Analysis of morphological index system and discrimination of male and female silver eels (*Anguilla japonica*) collected at the Yangtze River estuary[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(1): 1-9 (in Chinese).
- [34] 李虎, 陈四清, 刘海金, 等. 半滑舌鳎养殖群体的性与雌雄形态差异比较[J]. 水产学报, 2012, 36(9): 1331-1336.
- Li H, Chen S Q, Liu H J, *et al.* Study on sex ratio and comparison of morphological variation between genders of cultured half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(9): 1331-1336 (in Chinese).
- [35] 张富斌. 嘉陵江上游唇鱼骨两性异形及其与年龄的关系研究[J]. 天津农业科学, 2020, 26(7): 23-29.
- Zhang F B. Research on sexual dimorphism and its relationship to age of *Hemibarbus labeo* in upstream of the Jialing River[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2020, 26(7): 23-29 (in Chinese).

Principal component and discriminant analyses of morphological traits of cultured *Konosirus punctatus* at different stage

PING Hongling¹, ZHANG Tao¹, SHI Huilai^{1*}, FU Tiezhong², HE Jie¹,
LI Bin¹, LU Bin¹, YU Xuejun¹

(1. Zhejiang Province Key Laboratory of Mariculture and Enhancement,
Zhejiang Marine Fisheries Research Institute, Zhoushan 316021, China;

2. School of Fisheries of Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: In order to explore the growth pattern and characteristics of phenotypic traits of *Konosirus punctatus* at different ages, as well as the relationship between traits and month of ages at the best growing season, phenotypic traits data of total length, body length, head length, trunk length, caudal peduncle length, eye diameter, body height, caudal peduncle height, body width, interorbital distance and body mass collected from *K. punctatus* at two, four, six, eight months old were analyzed by principal component and discriminant analysis in this study. The results showed that there were different degrees of positive correlation among all the phenotypic traits at different ages. The correlation coefficients between body mass and total body length, body height, body width at each month were large. The correlation coefficients between eye diameter and eye spacing and other traits were small, and the correlation coefficients between body weight and other traits at eight months old were less than those at two, four and six months old. The principal components of *K. punctatus* at different months of age were different. The first principal component was mainly based on the growth of body mass and length increase. The second principal component showed the growth state of body width at two months old, which also showed the growth state of eye diameter at four, six, eight months old. The third principal component showed the growth state of head at two and four months old, as well as the growth state of eye diameter at six months old and that of body width at eight months old. By stepwise discriminant analysis, the discriminant function of each month was established after eliminating three traits. The overall discriminant accuracy was 99.3%, especially the discriminant accuracy of two, four and eight month of age of *K. punctatus* reached to 100%. The relation equation between body length and body mass of 2-8 months of age was $W=0.017L^{2.929}$ ($R^2=0.981$) of *K. punctatus*. This study proved that total length and body length and body height and body width are the most important morphological traits in the growth stage of *K. punctatus*. The study established the discriminant function in the different growth stage of *K. punctatus*, which demonstrated that the growth pattern of *K. punctatus* is isokinetic growth at two to eight months old. This study provides a theoretical evidence and suggested measure indices for the selection and breeding of *K. punctatus*.

Key words: *Konosirus punctatus*; morphological traits; principal component analyses; discriminant analyses

Corresponding author: SHI Huilai. E-mail: shihuilai1980@163.com

Funding projects: National Key R & D Program of China (2019YFD0901204, 2019YFD0901205); Key R & D Program of Zhejiang Province (2019C02056); Public-welfare Science and Technology Project of Zhoushan (2017C32071)