

doi: 10.7541/2019.147

西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂) 的形态差异分析

苗懿^{1*} 陈雨薇^{1*} 赵仲孟¹ 瞿炼石² 刘博² 刘钊¹
武佳韵³ 黄小丽¹ 杨世勇¹

(1. 四川农业大学动物科技学院, 成都 611130; 2. 雅安市农业农村局, 雅安 625000;
3. 四川农业大学生命科学学院, 雅安 625014)

摘要: 采用形态学和多变量形态度量方法, 对西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)、施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)的形态异同进行了分析, 以鉴别区分三者的形态特征。结果发现, 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种的可数性状中鳃耙数和背鳍数均具有显著差异; 可量性状的多重比较分析显示杂交种的眼间距/全长显著小于西伯利亚鲟和施氏鲟, 三者的吻长/全长均具有显著差异; 主成分分析提取的前三个主成分对变异的累积贡献率为65.68%; 判别分析构建了西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种的判别公式, 判别公式预测分类总体准确率为85.6%。分析结果表明, 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种间的形态差异主要体现在头部及尾柄。

关键词: 西伯利亚鲟; 施氏鲟; 杂交; 形态差异; 判别分析

中图分类号: Q174 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2019)06-1239-07

鲟是鲟形目(*Acipenseriformes*)鱼类的总称, 是世界上最古老的鱼类之一^[1, 2], 具有较高的经济价值^[3, 4]。20世纪90年代以前, 制作鱼子酱的鲟主要来源于野外捕捞。然而, 由于环境变化及过度捕捞等因素^[5, 6], 致使全球野生鲟资源量大幅下降, 难以满足市场需求。因此20世纪90年代初, 鲟的人工养殖开始兴起, 弥补了野生鲟资源下降给市场带来的影响。我国的鲟养殖始于1990年, 虽起步较晚但发展迅速, 2013年产量已占世界养殖总产量的85.3%, 成为了世界第一鲟养殖大国^[7], 且近年产量一直保持着稳中有升。

近年来, 随着鲟养殖产业的快速形成和发展, 鲟的种业问题日益突显, 纯种鲟养殖存在生长速度减缓、疾病频发、鱼子酱品质下降等许多问题^[6], 因此良种选育工作迫在眉睫。杂交是育种广泛采用的手段之一, 主要是采用具有不同生物学特性的

亲本进行种间或属间的杂交, 使不同类型亲本的优良性状得以结合, 从而获得杂种优势的新品种^[8]。中国目前养殖的鲟种类有西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)、施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)、达氏鳇(*Huso dauricus*)、俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedtii*)、小体鲟(*Acipenser ruthenus*)、闪光鲟(*Acipenser stellatus*)、匙吻鲟(*Polyodon spathula*)等^[9]。其中施氏鲟和西伯利亚鲟为我国人工养殖的主要鲟种类, 施氏鲟仅分布于黑龙江水系, 是黑龙江的特有种和重要经济鱼类^[9], 其个体大, 生长速度较快, 但抗病力较差, 不耐运输^[10]。而西伯利亚鲟主要分布于中亚和东欧^[5]及我国额尔齐斯河水系^[9], 其抗病力强, 耐运输, 但生长速度较慢^[10]。结合以上两种鲟的特点, 我国于2007年前后成功培育出西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交F1(下简称“杂交种”), 该杂交种在繁殖性能、生长速度、存活率、抗病

收稿日期: 2018-12-03; **修订日期:** 2019-05-12

基金项目: 国家自然科学基金(31401488); 四川省科技厅应用基础研究项目(2015JY0206和2019YJ0515)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31401488); Applied Basic Research from Technological Office of Sichuan Province (2015JY0206, 2019YJ0515)]

作者简介: 苗懿(1996—), 女, 河南新乡人; 硕士研究生; 主要研究方向为鱼类种质资源及遗传育种。E-mail: abcmiaoy@126.com; 陈雨薇(1998—), 女, 四川雅安人; 本科生; 主要研究方向为鱼类种质资源及遗传育种。E-mail: VivianChen7@163.com*共同第一作者

通信作者: 黄小丽(1979—), E-mail: hxlidyq@126.com; 杨世勇(1979—), E-mail: yangshiyong@sicau.edu.cn

性等方面,较双亲有明显的优势^[11],自培育成功迅速在全国范围内推广养殖,现已成为我国商品鲟养殖规模与产量较大的种类之一^[10]。

由于鲟形目鱼类均为多倍体,易进行种间杂交,且杂交产生的后代种类繁多^[12],商品名称混杂,西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)的形态较为相似,因此在生产中易造成混淆,给养殖户带来一定的经济损失^[12]。目前国际上对鱼类种质鉴定的方法主要包括形态学、生物化学和分子遗传学等^[13,14],但生化及分子标记等方法操作相对复杂,不太适用于养殖户。因此,需要一种操作方便、快速简单的鉴定方法以满足生产中对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)进行鉴定的需求。形态学特征是杂交育种研究的重要指标之一,也是育种的直接选择参数,具有快速、简便、直观的优点,因此形态学鉴定是最基本最适合实际生产中的鉴定方法。同时,通过形态鉴定对比亲本及其杂交子代的性状,还可为性状遗传规律提供参考^[15]。目前,关于西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交F1的研究主要集中在生长性能^[11]、肌肉品质^[16]及生化遗传特性^[17]等方面,而有关该杂交种与其亲本之间的形态异同还未见报道。因此,本文拟通过传统形态学方法、多变量形态度量学方法和统计学方法对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)进行研究,探讨其形态差异特点与规律,为人工养殖条件下西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)的识别鉴定及优良性状选育等方面提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

本研究中西伯利亚鲟、施氏鲟及西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交F1均来自四川润兆渔业有限公司彭州军乐基地,西伯利亚鲟、施氏鲟及杂交种为同时间段产卵受精,经孵化、驯化后同池饲养。研究样本均为随机取样的相同养殖条件下的5月龄个体,观测样本的数量和规格见表1。

1.2 实验方法

外部形态特征的观察 对3种鲟的形态、大小、颜色等进行观察,并进行比较。

可量性状的测量 实验鱼使用MS-222麻醉后进行称重、测量。框架示意图参考张世义等^[9],框架参数(精确到0.01 cm)共15项,框架定位点如图1所示,将两坐标点之间的直线距离分别用C1、C2、C3、C4……表示,得到15个框架结构性状数据。采用直尺和游标卡尺等分别测量吻长(A—B, C1)、眼径(B—C, C2)、头长(A—D, C3)、眼后头长(C—D, C4)、胸鳍长(D—L, C5)、体长(A—E, C6)、全长(A—F, C7)、尾鳍上叶长(E—F, C8)、鳍下叶长(E—G, C9)、尾柄长(H—E, C10)、体高(M—N, C11)、头高(O—N, C12)、尾柄高(C13)、眼间距(C14)、口裂(C15)、体重(C16)。

可数性状 对每组样本进行计数,计数项目有:背鳍鳍条、胸鳍鳍条、腹鳍鳍条、臀鳍鳍条、背骨板、侧骨板、腹部骨板、鳃耙数。

1.3 数据处理

采用EXCEL 2016软件对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)的体长和体重范围进行数据处理与分析。使用统计分析软件SPSS 20对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)的可数性状差异进行单因素方差分析,使用Games Howell检验对三者的可量性状进行多重比较分析。采用聚类分析、主成分分析、逐步判别分析和参数判别分析等多种多元分析方法对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)的形态差异进行比较分析,为消除样品规格大小对形态特征的影响,将所有参数分别除以自身体长值予以校正,得到7个形态特征比例性状,分别对应设为A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7,再分别求出各组参数校正值的平均值使用SPSS 20软件进行分析。

参考曹栋正^[18]的方法计算杂种指数。对可数性状计算杂种指数 $HI=100 \times (H_i - M_{i1}) / (M_{i2} - M_{i1})$ 。H_i:杂种平均值;M_{i1}:母本(西伯利亚鲟)平均值;

表1 样本的数量和规格

Tab. 1 The quantity and specification of the samples

种类Species	样本数Sample number	体长范围Length range (cm)	体长均值±标准差Length mean±SD (cm)	体重范围Weight range (g)	体重均值±标准差Weight mean±SD (g)
西伯利亚鲟 <i>A. baerii</i>	30	16.81—26.71	23.18±1.92	63.80—121.90	86.49±13.67
施氏鲟 <i>A. schrenckii</i>	30	10.30—18.12	13.77±1.84	10.50—46.60	21.02±8.64
西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交F1 The hybrid	30	18.60—25.10	22.23±1.56	50.20—100.50	73.22±13.31

M_{12} :父本(施氏鲟)平均值。 HI 介于45与55之间属中间性状, $HI<45$ 为偏母本性状, $HI>55$ 为偏父本性状, $HI>100$ 或 $HI<0$ 为超亲偏离性状。

2 结果

2.1 可数性状分析

西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种的可数性状统计见表2。其中,杂交种可数性状中的背鳍条数、胸鳍条数、臀鳍条数、腹鳍条数、背骨板数、侧骨板数、腹骨板数处于西伯利亚鲟与施氏鲟的中间范围,且与两者都有重叠,而鳃耙数和背鳍数三者均差异显著。对杂交种各可数性状杂种指数(HI)的计算显示,杂交种胸鳍条数、侧骨板数、腹骨板数明显属于偏母本性状($HI<45$);腹鳍条数明显属于偏父本性状($HI>55$);背鳍条数、臀鳍条数偏离双亲性状($HI>100$ 或 $HI<0$);背骨板数、鳃耙数为中间性状或接近于中间性状。因背鳍条数($HI=214.51$)、臀鳍条数($HI=-46$)偏离太远,在除去背鳍条数、臀鳍条数 HI 后计算的杂交种可数性状 HI 平均值为41.22,表明杂交种可数性状总体上偏向于母本。

2.2 可量性状分析

如表3所示,在七项可量性状中,西伯利亚鲟与施氏鲟的体高/全长、尾柄长/全长、尾柄高/全长、吻长/全长呈显著差异($P>0.05$);杂交种的尾柄

长/全长、尾柄高/全长、吻长/全长、眼间距/全长与西伯利亚鲟差异显著($P>0.05$);杂交种在体高/全长、吻长/全长、眼间距/全长与施氏鲟差异显著($P>0.05$)。其中,杂交种的吻长/全长、眼间距/全长与双亲差异显著($P>0.05$,表4、图2)。在杂种指数方面,杂交种体高/全长($HI=-18.06$)、眼间距/全长($HI=-200.35$)头长/全长($HI=234.45$)、尾柄长/全长($HI=111.82$)、尾柄高/全长($HI=122.41$)属超双亲偏离性状。除体高/全长、尾柄长/全长、眼间距/全长、头长/全长、尾柄高/全长外,杂交种可量性状 HI 平均值为48.02,显示杂交种部分可量性状属中间性状。

2.3 聚类分析

对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种样本进行形态比例参数聚类分析,基于平方欧氏距离的聚类分析显示(图3),西伯利亚鲟先与杂交种聚为一类,再与施氏鲟相聚。

2.4 主成分分析

经主成分分析共提取了3个主成分,对变异的累积贡献率为65.68%。其中,主成分1的贡献率为25.09%,主成分2的贡献率为20.87%,主成分3的贡献率为19.73%(表4)。在主成分1上载荷较大的性状有眼间距/全长、尾柄高/全长、口裂宽/全长、吻长/全长,主成分2上载荷较大的性状有体高/全长、尾柄长/全长,主成分3上载荷较大的性状有头长/全长、吻长/全长。

2.5 判别分析

经逐步判别分析得到贡献最大的5个参数,分别为体高/全长、尾柄长/全长、尾柄高/全长、吻长/全长、眼间距/全长,分别为 A_1 、 A_3 、 A_4 、 A_5 、 A_6 。采用这5个比例性状构建的判别公式如下:

(1)西伯利亚鲟: $Y=730.806A_1+362.207A_3+$

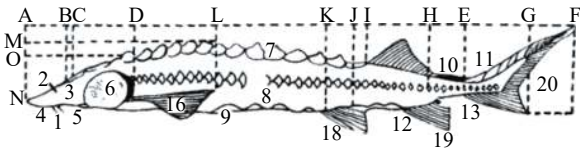


图1 试验鱼框架示意图^[9]

Fig. 1 Frame schematic of samples^[9]

表2 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种F1的可数性状

Tab. 2 Meristic data of *A. baerii*, *A. schrenckii* and their hybrid

项目Item	西伯利亚鲟 <i>A. baerii</i>	西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂) 杂交F1 The hybrid	施氏鲟 <i>A. schrenckii</i>	<i>HI</i>
背鳍Dorsal fin	33—48(42.77±3.89) ^a	25—37(31.83±3.70) ^b	33—44(37.67±2.49) ^c	214.51
胸鳍Pectoral fin	33—44(38.07±3.38) ^a	29—45(35.87±4.16) ^a	26—36(30.63±2.76) ^b	29.57
臀鳍Anal fin	24—32(28.23±1.84) ^a	25—31(27.77±1.61) ^a	26—33(29.23±2.20) ^a	-46
腹鳍Pelvic fin	25—32(27.93±2.47) ^a	19—29(24.27±2.42) ^b	20—26(23.97±1.64) ^b	92.42
背骨板Dorsal bone plate	12—17(13.87±1.09) ^a	10—16(13.23±1.41) ^{a,b}	10—15(12.60±1.23) ^b	50.39
侧骨板Lateral bone plate	31—42(37.10±2.87) ^a	29—47(38.00±4.40) ^a	26—35(31.67±2.66) ^b	16.57
腹骨板Pelvic bone plate	8—12(10.33±0.98) ^a	8—13(10.17±1.16) ^a	7—10(8.50±0.81) ^b	8.74
鳃耙Gill rakers	22—33(27.27±2.46) ^a	26—37(30.03±3.02) ^b	27—38(32.83±3.02) ^c	49.64

注: HI 为杂种指数; 同行的不同字母表示差异显著($P<0.05$); 下同

Note: HI is the average of the hybrid index, and different letters of the same trade show significant difference ($P<0.05$). The same applies below

2484.778A4+1832.327A5+473.854A6-227.471

(2)杂交种: $Y=761.107A1+287.676A3+1909.958A4+1708.664A5+453.932A6-193.642$

(3)施氏鲟: $Y=986.354A1+284.827A3+1580.425A4+1495.226A5+686.930A6-200.078$

上列判别公式对分类总体预测准确率为85.6%, 其中对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种判断的准确率分别为83.3%、93.3%、和80% (表 5)。判断3种鱼所属种类时, 将所测数据经校正后代入公式, 函数值最大的即为其所属。

3 讨论

鲟为多倍体易进行杂交, 所以导致了大量杂交鲟的存在, 这些杂交鲟较难区分, 目前国内外也尚

未形成比较完善可行的鲟种质鉴定体系。鱼类的种质鉴定方法既有传统的形态学方法也有最新的分子生物学手段, 胡佳等^[19]采用微卫星分子标记结合线粒体控制区同源序列比对的方法鉴别出了施氏鲟、达氏鳇及其正反杂交子代。虽然分子生物学方法可以对鲟进行鉴定, 但其操作及分析较为复杂, 不适合用于实际生产。形态学方法是通过不同的种群具有不同的形态学特征, 主要包括可数性状和可量性状来进行种质鉴定的, 与分子方法相比更加简便快速。张颖等^[20]就采用了形态学和多变量形态度量方法, 对施氏鲟、达氏鳇及其杂交种(达氏鳇(♀)×施氏鲟(♂))进行了形态差异及判别分析, 发现可通过头长、吻长及口裂宽等头部性状鉴别区分达氏鳇、施氏鲟及达氏鳇(♀)×施氏鲟(♂)杂交

表 3 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种形态特征的多重比较分析

Tab. 3 Multiple comparative analysis of morphological features of seven traits on *A. baerii*, *A. schrenckii* and their hybrid

性状Trait	种类(平均值±标准差)Species (mean±SD)			HI
	西伯利亚鲟 <i>A. baerii</i>	西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂 交F1The hybrid	施氏鲟 <i>A. schrenckii</i>	
A1(体高/全长)Body depth/ total length	0.1007±0.0064 ^a	0.0982±0.0077 ^a	0.1148±0.0127 ^b	-18.06
A2(头长/全长)Head length/ total length	0.2423±0.0231 ^a	0.2462±0.0098 ^a	0.2440±0.0113 ^a	234.45
A3(尾柄长/全长)Caudal peduncle length/ total length	0.0565±0.0165 ^a	0.0442±0.0085 ^b	0.0455±0.0130 ^b	111.82
A4(尾柄高/全长)Caudal peduncle length/ total length	0.0285±0.0028 ^a	0.0243±0.0023 ^b	0.0251±0.0029 ^b	122.41
A5(吻长/全长)Snout length/ total length	0.1376±0.0076 ^a	0.1289±0.0084 ^b	0.1189±0.0083 ^c	46.58
A6(眼间距/全长)Interorbital width/ total length	0.0755±0.0072 ^a	0.0682±0.0070 ^b	0.0791±0.0095 ^a	-200.35
A7(口裂宽/全长)Mouth width/ total length	0.0580±0.0041 ^a	0.0562±0.0199 ^a	0.0544±0.0130 ^a	49.46

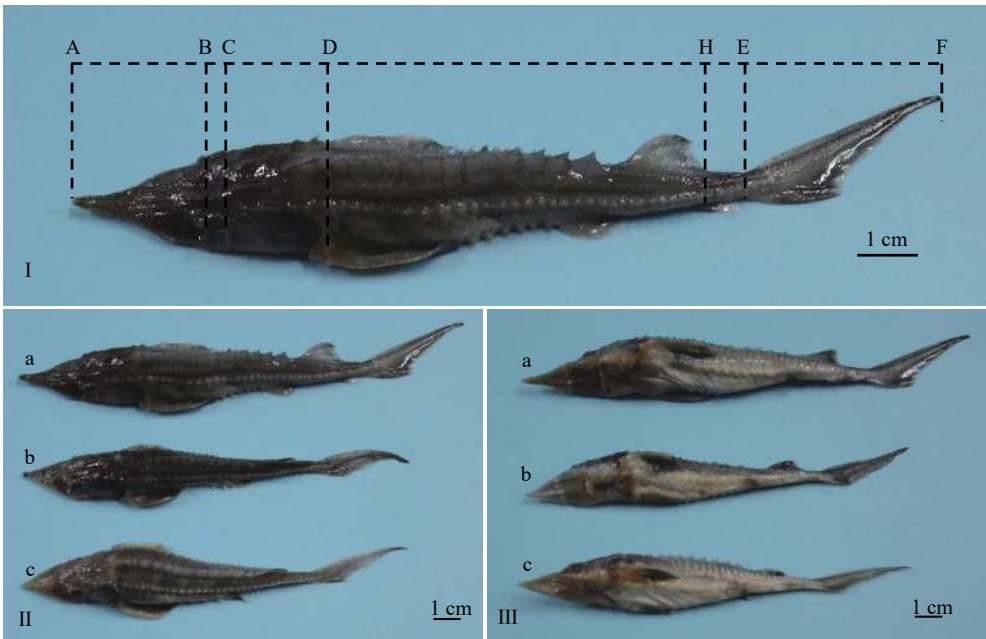


图 2 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种(西伯利亚鲟♀×施氏鲟♂)对比图

Fig. 2 Contrast charts of *Acipenser baerii*, *Acipenser schrenckii* and their hybrids (*A. baerii*♀×*A. schrenckii*♂)

a. 西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交F1; b. 施氏鲟; c. 西伯利亚鲟; A-B 吻长; A-F 全长; A-D 头长; H-E 尾柄长
a. The hybrid; b. *A. schrenckii*; c. *A. baerii*; A-B Snout length; A-F Total length; A-D Head length; H-E Caudal peduncle length

子代。本实验采用了传统的形态学方法、多变量形态度量学方法和统计方法对西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种进行鉴定。通过对比西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种的可数性状发现, 杂交种的背鳍条数、胸鳍条数、臀鳍条数等均与西伯利亚鲟、施氏鲟两者有重叠, 难以区分出杂交种, 而鳃耙数和背鳍数在西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种三者

间均具有显著差异。但对活体进行鳃耙数的观察及计数时操作极为不便, 因此生产中难以将鳃耙数目作为用来区分3种鲟的可行性指标。所以将背鳍数作为区分西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种的指标之一更为可行。然而相对于达氏鳇而言, 施氏鲟与西伯利亚鲟同属鲟属, 其物种间形态差异相对较小, 因此在对施氏鲟、西伯利亚鲟及其杂交种进行形态鉴别时不能只以少数指标鉴别, 而要用多项参数进行综合判别。

通过主成分分析可以把许多参数综合成少数因子来说明不同种类的差异大小, 并根据不同种类的主成分值找出各种类在各主成分值上差异较大的参数^[21]。由于不同种鲟的生长速度不同, 随着年龄的增加, 鱼体是成比例地增加的^[21], 为保证用于比较分析的可量性状具有可比性, 本研究中选择使用可量性状的比值进行主成分分析, 结果显示载荷较大的性状主要集中在头部及尾部。此外, 对可量性状的多重比较分析结果显示西伯利亚鲟和施氏鲟的体高/全长、尾柄长/全长、尾柄高/全长、吻长/全长呈显著差异, 判别分析构建的判别公式中贡献较大的变量也多分布于头部及尾柄。因此, 头部及尾柄的形态差异是区别西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种形态特征的主要依据。同时已有研究表明西伯利亚鲟、施氏鲟分别于23—57日龄、38日龄器官分化完全, 各骨板分化并发育, 在形态上逐渐完成向成鱼的转变, 进入稚鱼期, 形态基本与成鱼一致^[22—24]。本研究中所选用三种鲟均为5月龄, 因此对于其他较大年龄的三种鱼形态差异区分也具有一定参考价值。

本研究中主成分分析共提取的3个主成分对变异的累积贡献率为65.68%, 而刘苏等^[25]采用形态学和框架分析法对斑鳢(♀)、乌鳢(♂)及其杂交种的形态差异和判别分析中的主成分分析累积贡献率也相对较低。其原因可能是施氏鲟和西伯利亚鲟、斑鳢和乌鳢均为同属下的近缘种, 种间形态差异本身不大, 从而导致累积贡献率不高。此外判别分析是鱼类形态鉴别的常用方法, 判别分析可以建立判别公式, 对不同种类进行判别^[26, 27]。本研究中构建了3个判别公式, 对分类总体预测准确率为85.6%, 可能也由于其亲本及杂交种间自身差异不大, 因此较难以判别。

多项研究表明杂交后代受母本影响大, 很多性状更偏向母本^[28]。本研究也发现了类似的现象, 从杂交指数看, 西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交F1的可数性状总体上偏向母本, 同时聚类分析结果也显示西伯利亚鲟与西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交

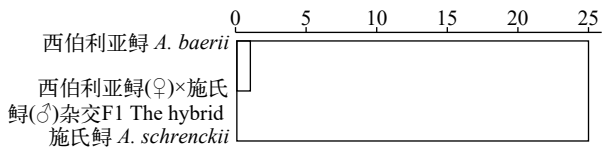


图3 西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种聚类分析图
Fig. 3 Cluster analysis of *A. baerii*, *A. schrenckii* and their hybrid

表4 七个可量性状主成分分析因子载荷值及贡献率
Tab. 4 Loading values and contribution rate of principle component in seven traits

性状Trait	成分载荷和贡献率Loading values and contribution rate		
	主成分1	主成分2	主成分3
A1体高/全长Body depth/ total length	0.2476	0.6906	-0.3751
A2头长/全长Head length/ total length	0.3497	0.4355	0.7452
A3尾柄长/全长Caudal peduncle length/ total length	0.2817	-0.6217	-0.3579
A4尾柄高/全长Caudal peduncle length/ total length	0.6732	-0.2622	-0.3251
A5吻长/全长Snout length/ total length	0.5144	-0.4768	0.6073
A6眼间距/全长Interorbital width/ total length	0.6810	0.3175	-0.2816
A7口裂宽/全长Mouth width/ total length	0.5583	0.1029	0.0560
各主成分贡献率Contribution rate of principal component	25.09%	20.87%	19.73%
各主成分累积贡献率The cumulative contribution rate of principal component	25.09%	45.96%	65.68%

表5 判别函数对观测样本的预测分类及准确率
Tab. 5 Predicted classification of discriminant functions for observed sample and their percentages of accuracy

种类Species	样本量Sample number	准确率Precision rate	预测分类Forecast classification		
			西伯利亚鲟 <i>A. baerii</i>	西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交F1The hybrid	施氏鲟 <i>A. schrenckii</i>
西伯利亚鲟 <i>A. baerii</i>	30	83.3%	25	4	1
西伯利亚鲟(♀)×施氏鲟(♂)杂交F1 The hybrid	30	80.0%	4	24	2
施氏鲟 <i>A. schrenckii</i>	30	93.3%	0	2	28
总计Total	90	85.6%	29	30	31

F1距离较近,因此该杂交种的一些性状可能受到母体效应的影响。

综上所述,吻长、眼间距、尾柄等性状的相关参数是区分西伯利亚鲟、施氏鲟及其杂交种的重要形态学依据。但由于环境和习性等原因,可能导致这几种鲟的生长速度有所差异,关于西伯利亚鲟与施氏鲟杂交种的种质鉴定可通过分子标记等方法进一步完善。

参考文献:

- [1] Pikitch E K, Doukakis P, Lauck L, *et al.* Status, trends and management of sturgeon and paddlefish fisheries [J]. *Fish and Fisheries*, 2005, **6**(3): 233—265
- [2] Wang D L. The status quo and prospect of sturgeon species in the world [J]. *Marine Fisheries*, 1991, (2): 88—90 [王大龙. 世界鲟鱼类的现状 & 展望. 海洋渔业, 1991, (2): 88—90]
- [3] Shi B N, Lu Y S. The early research on sturgeon species in China [J]. *Journal of Southwest China Normal University* (Natural Science Edition), 1980, (2): 1—6 [施白南, 陆云荪. 我国早期有关鲟鱼类记述的研究. 西南师范学院学报(自然科学版), 1980, (2): 1—6]
- [4] Zhou X H. Status analysis of sturgeon caviar industry [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2015, **28**(4): 48—52 [周晓华. 鲟鱼子酱产业现状分析. 水产学杂志, 2015, **28**(4): 48—52]
- [5] Ruban G I. Species structure, contemporary distribution and status of the Siberian sturgeon, *Acipenser baerii* [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1997, **48**(1—4): 221—230
- [6] Shi Z G, Dong S L, Wang Y S, *et al.* Status and problems confronted in sturgeon aquaculture in China [J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2008, **26**(2): 58—62 [石振广, 董双林, 王云山, 等. 我国鲟鱼养殖业现状及问题分析. 中国渔业经济, 2008, **26**(2): 58—62]
- [7] Chen X H, Li C J, Yang C G, *et al.* Status and prospects of techniques in the sturgeon aquaculture industry in China [J]. *Freshwater Fisheries*, 2017, **47**(6): 108—112 [陈细华, 李创举, 杨长庚, 等. 中国鲟鱼产业技术研发现状与展望. 淡水渔业, 2017, **47**(6): 108—112]
- [8] Zhang L L, Bai J J. The main fish hybrids and current situation of aquaculture in China [J]. *Marine Fisheries*, 2014, **36**(5): 475—480 [张岚岚, 白俊杰. 我国主要鱼类杂交种及其养殖状况. 海洋渔业, 2014, **36**(5): 475—480]
- [9] Zhang S Y. Fauna Sinica: Osteichthyes, Acipenseriformes Elopiformes Clupeiformes Gonorhynchiformes [M]. Beijing: Science Press. 2000, 29—37 [张世义. 中国动物志: 硬骨鱼纲, 鲟形目 海鲢目 鲱形目 鼠鲱目. 北京: 科学出版社. 2000, 29—37]
- [10] Sun D J. Chinese Sturgeon Cultivation [M]. Beijing: China Agriculture Press. 2015, 40—52 [孙大江. 中国鲟鱼养殖. 北京: 中国农业出版社. 2015, 40—52]
- [11] Qi Q, Liu H H, Li Z H, *et al.* Comparison of reproductive performance, growth performance and disease resistance performance among *Acipenser schrenckii*, *Acipenser baerii* and their hybrids offspring [J]. *Acta Agriculture Universitatis Jiangxiensis*, 2017, **39**(2): 376—383 [齐茜, 刘浩浩, 李忠华, 等. 施氏鲟、西伯利亚鲟及其杂交后代的繁殖性能、生长性能及抗病性能比较. 江西农业大学学报, 2017, **39**(2): 376—383]
- [12] Ma G Q. Comparative study of six hybrid sturgeons breeding performance [D]. Thesis for Doctor of Science. Agricultural University of Hebei, Baoding. 2013 [马国庆. 六种杂交鲟养殖性能的比较研究. 博士学位论文, 河北农业大学, 保定. 2013]
- [13] Dong Z G, Chang Y M. The main techniques and methods of fish germplasm identification [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2002, **15**(2): 74—77 [董志国, 常玉梅. 鱼类种质鉴定的主要技术与方法. 水产学杂志, 2002, **15**(2): 74—77]
- [14] Congiu L, Dupanloup I, Patarnello T, *et al.* Identification of interspecific hybrids by amplified fragment length polymorphism: the case of sturgeon [J]. *Molecular Ecology*, 2010, **10**(9): 2355—2359
- [15] Jin X L, Jin H, Wang M L, *et al.* Comparison of genetic characteristics between the F1 hybrid (*Ctenopharyngodon idella*×*Squaliobarbus curticulus*) and its parents [J]. *Life Science Research*, 1999, **3**(4): 316—320 [金燮理, 金宏, 王明龙, 等. 草鱼×赤眼鲮F1与其亲本遗传性状的比较研究. 生命科学研究, 1999, **3**(4): 316—320]
- [16] Wang N M, Yang G Q, Peng T, *et al.* Analysis on muscle nutritive components of three kinds of sturgeons and their hybrids [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2010, **32**(S): 53—56 [王念民, 杨贵强, 彭涛, 等. 三种鲟鱼及其杂交种肌肉营养成分分析. 吉林农业大学学报, 2010, **32**(S): 53—56]
- [17] Wu Y. Biochemical genetics of *Acipenser schrenckii*, *Acipenser Baeri* and their reciprocal hybrids population [D]. Thesis for Master of Science. Northeast Forestry University, Harbin. 2008 [吴艺. 史氏鲟、西伯利亚鲟及其杂交种生化遗传研究. 硕士学位论文, 东北林业大学, 哈尔滨. 2008]
- [18] Cao D Z. Studies on traits variations of *Platichthys stellatus*, *Kareius bicoloratus* and their hybrids [D]. Thesis for Master of Science. Shanghai Ocean University, Shanghai. 2016 [曹栋正. 星突江鲢、石鲢及其杂交种的性状差异研究. 硕士学位论文. 上海海洋大学, 上海. 2016]
- [19] Hu J, Wang D Q, Wei Q W, *et al.* Molecular identification of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*), kaluga (*Huso dauricus*) and their reciprocal hybrids [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, **17**(1): 21—30 [胡佳, 汪登强, 危起伟, 等. 施氏鲟、达氏鲟及其杂交子代的

- 分子鉴定. 中国水产科学, 2010, **17**(1): 21—30]
- [20] Zhang Y, Liu X Y, Qu Z Q, *et al.* Comparative discriminate analysis of morphological traits among *Acipenser schrenckii*, *Huso dauricus* and their hybrid (*A. schrenckii* (♂)×*H. dauricus* (♀)) [J]. *Freshwater Fisheries*, 2012, **42**(6): 27—32 [张颖, 刘晓勇, 曲秋芝, 等. 达氏鳇、施氏鲟及其杂交种(施氏鲟♂×达氏鳇♀)形态差异与判别分析. *淡水渔业*, 2012, **42**(6): 27—32]
- [21] Li S F, Li C H, Li J L. Analysis of morphological variations among strains of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1998, **44**(4): 75—82 [李思发, 李晨虹, 李家乐. 尼罗罗非鱼品系间形态差异分析. *动物学报*, 1998, **44**(4): 75—82]
- [22] Liu H B, Song S X, Sun D J, *et al.* Embryonic and larval development of Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, **7**(3): 5—10 [刘洪柏, 宋苏祥, 孙大江, 等. 施氏鲟的胚胎及胚后发育研究. *中国水产科学*, 2000, **7**(3): 5—10]
- [23] Song W, Song J K. Observations on morphology of post-embryonic development and histology of sensory organs in larval and juvenile Siberian sturgeon, *Acipenser baerii* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, **19**(5): 790—798 [宋炜, 宋佳坤. 西伯利亚鲟仔稚鱼胚后发育的形态学和组织学观察. *中国水产科学*, 2012, **19**(5): 790—798]
- [24] Ma J, Zhang L Z, Zhuang P, *et al.* Development and allometric growth patterns of larval *Acipenser schrenckii* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, **18**(12): 2875—2882 [马境, 章龙珍, 庄平, 等. 施氏鲟仔鱼发育及异速生长模型. *应用生态学报*, 2007, **18**(12): 2875—2882]
- [25] Liu S, Zhu X P, Chen K C, *et al.* Morphological variations of *Channa maculata*, *Channa Argus* and their hybrids (*C. maculata* ♀, *C. Argus* ♂) [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2011, **30**(4): 488—493 [刘苏, 朱新平, 陈昆慈, 等. 斑鳢、乌鳢及其杂交种形态差异分析. *华中农业大学学报*, 2011, **30**(4): 488—493]
- [26] Li S F, Zhou B Y, Ni C K, *et al.* Morphological variations of silver carp, bighead and grass carp from Changjiang, Zhujiang and Heilongjiang rivers [J]. *Current Zoology*, 1989, **35**(4): 390—398 [李思发, 周碧云, 倪重匡, 等. 长江、珠江、黑龙江鲢、鳙和草鱼原种种群形态差异. *动物学报*, 1989, **35**(4): 390—398]
- [27] Liang H W, Li Z, Luo X Z, *et al.* Morphological differences and discriminant analysis between Changfeng and Yangtze river silver carp [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(5): 1059—1064 [梁宏伟, 李忠, 罗相忠, 等. 长丰鲢与长江鲢形态差异与判别分析. *水生生物学报*, 2015, **39**(5): 1059—1064]
- [28] Yang H Y, Li S F, Zou S M. A primary study on inheritance of morphological traits from *Megalobrama amblycephala*, *Megalobrama terminalis* to their reciprocal hybrids (F1) [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2002, **11**(4): 305—309 [杨怀宇, 李思发, 邹曙明. 三角鲂与团头鲂正反杂交F1的遗传性状. *上海海洋大学学报*, 2002, **11**(4): 305—309]

MORPHOLOGICAL DIFFERENCES OF *ACIPENSER BAERII*, *ACIPENSER SCHRENCKII* AND THEIR HYBRIDS (*A. BAERII*♀×*A. SCHRENCKII*♂)

MIAO Yi¹, CHEN Yu-Wei¹, ZHAO Zhong-Meng¹, QU Lian-Shi², LIU Bo², LIU Zhao¹, WU Jia-Yun³, HUANG Xiao-Li¹ and YANG Shi-Yong¹

(1. College of Animal Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Ya'an Agricultural Bureau, Ya'an 625000, China; 3. College of Life Sciences, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: In order to identify the morphological differences and discrimination of *Acipenser baerii* and *Acipenser schrenckii*, the hybrids of *A. baerii*♀×*A. schrenckii*♂ were analyzed by morphological and multivariate morphometric methods. There were significant differences in the number of gill rakes and dorsal fins among the countable traits of *A. baerii*, *A. schrenckii* and their hybrids. The multiple comparative analysis of the countable traits showed that the eye spacing/full length of *A. baerii* and *A. schrenckii* was significantly longer than that of their hybrids. The three principal components were extracted by principal component analysis, and the cumulative contribution rate to variation was 65.68%. The discriminant formulas for *A. baerii*, *A. schrenckii* and their hybrids were constructed by discriminant analysis, and the overall accuracy of the discriminant formulas was 85.6%. The results revealed that the morphological differences among *A. baerii*, *A. schrenckii* and their hybrids were mainly reflected in the head and tail stalk.

Key words: *Acipenser baerii*; *Acipenser schrenckii*; Hybridization; Morphological differences; Discriminant analysis