

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180201001

http://www.yykxjz.cn/

孙朝虎, 白志毅, 李清清, 彭建庆, 李家乐. 三角帆蚌生长和壳色性状早期复合选择的优化研究. 渔业科学进展, 2019, 40(2): 91-97

Sun CH, Bai ZY, Li QQ, Peng JQ, Li JL. The optimization of early compound selection for growth traits and shell color in *Hyriopsis cumingii*. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(2): 91-97

三角帆蚌生长和壳色性状早期复合选择的优化研究*

孙朝虎^{1,3} 白志毅^{2,3}① 李清清^{1,3} 彭建庆^{1,3} 李家乐^{1,2,3}

(1. 上海市水产养殖工程技术研究中心 上海 201306; 2. 上海海洋大学 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室 上海 201306; 3. 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心 上海 201306)

摘要 本研究以三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*) ‘申紫1号’ F₁为研究对象,在幼蚌壳色透明期,根据目标性状的选择顺序和中选率,设置了7种依次选择法。壳长(SL)为第1选择性状,贝壳深紫色(PN)为第2选择性状,设定3种中选率,选择方法分别为SL 50% × PN 20%(I)、SL 30% × PN 33%(II)、SL 20% × PN 50%(III);贝壳深紫色(PN)为第1选择性状,壳长(SL)为第2选择性状,设定3种中选率,选择方法分别为PN 50% × SL 20%(IV)、PN 30% × SL 33%(V)、PN 20% × SL 50%(VI);另外1组经验选择法SI 10%(VII)作为对照组,选择内壳色深紫色和体型大的个体,每种方法的综合中选率均为10%。经过300 d养殖后,通过比较分析选留三角帆蚌的生长和壳色性状表现,对这7种方法的早期选择效果进行综合评价。结果显示,不同选择方法,早期选择效果不同,方法IV和方法VI选留个体的生长性状表现最佳,方法II最差;方法I~方法III对于壳色的选择效果最佳,方法IV对于壳色的选择效果较差;传统选择方法选留的三角帆蚌性状表现不突出。以贝壳深紫色为第1选择性状的方法,对于生长性状的早期选择效果优于以壳长性状为第1选择性状的选择方法;以壳长性状为第1选择性状的方法,对于壳色的早期选择效果优于以贝壳深紫色为第1选择性状的选择方法,说明选择顺序对于选择效果影响显著。更加关注的目标性状,在依次选择中,最后选择效果更佳;中选率影响选择效果,但受到复合选择的影响。

关键词 三角帆蚌; 早期选择; 生长性状; 壳色; 选择顺序; 中选率

中图分类号 S966.2 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)02-0091-07

优良的三角帆蚌(*Hyriopsis cumingii*)可以培育出优质的淡水珍珠,推动淡水珍珠产业转型升级、提质增效(梁飞龙等, 2015)。珍珠质量等级的提高需大小、圆度、颜色、光泽度、表面光洁度和珍珠层厚度(有

核珍珠) 6个指标同步提升。影响三角帆蚌育珠效果的因子有很多,包括育珠蚌的种质优劣、三角帆蚌的吊养密度、工人的插片技术等(王晓艳, 2011)。本实验室评价和筛选五大淡水湖泊的优质三角帆蚌(汪桂玲

* 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-49)、上海市工程中心项目(16DZ2281200)和国家自然科学基金(31672654)共同资助[This work was supported by China Agriculture Research System (CARS-49), Shanghai Engineering and Technology Center for Promoting Ability (16DZ2281200), and the National Natural Science Foundation of China (31672654)].
孙朝虎, E-mail: 869408077@qq.com

①通讯作者: 白志毅, 教授, E-mail: zybai@shou.edu.cn

收稿日期: 2018-02-01, 收修改稿日期: 2018-03-09

等, 2014), 以其为基础群体, 持续选育数年, 成功选育出三角帆蚌新品种‘申紫一号’。王照旗等(2014)通过对紫色三角帆蚌的内壳色和体重性状同步选育, 选育效果良好。李清清等(2015)研究表明, 育珠蚌的壳长生长率与所产无核珍珠的大小、圆度、光泽及产珠量极显著相关, 供片蚌的内壳色与无核珍珠颜色极显著相关。吴雷明等(2016)对紫色三角帆蚌选育组和对照组的贝壳珍珠质颜色和生长性状进行研究, 虽然选育效果良好, 但无法通过生长性状间接选择贝壳珍珠质颜色。因此, 本研究以壳长和贝壳深紫色为目标性状, 开展三角帆蚌生长和壳色性状复合选育, 以期培育双性状均表现优异的新品种。

复合性状选育方法有指数选择法、独立淘汰法、依次法, 各有利弊(楼允东, 1999)。吴建良等(2011)对中国荷斯坦奶牛不同选择方法的研究表明, 在同一淘汰率的情况下, 综合指数选择法的选择效果优于依次法和独立淘汰法。孔杰等(2012)通过综合选择指数法选育中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*), 4代后, 培育出‘黄海2号’。王雪磊等(2016)以壳金性状和生长性状为主要选育指标, 采用混合选育技术同步改良长牡蛎(*Crassostrea gigas*) 2个性状, 效果良好。葛建龙等(2016)通过家系内个体选育有效提高长牡蛎壳金群体的生长速度, 可获得较大的选择反应。从这些研究可以看出, 相对于指数选择法和独立淘汰法, 依次法操作简单, 可以获得更多的优秀性状的个体。

李达等(2017)对于金乌贼(*Sepia esculenta*)早期发育阶段内壳生长规律的研究表明, 早期选育的必要性。三角帆蚌苗种早期贝壳透明, 外壳色与内壳色显著相关, 该时期可直接观测贝壳内壳色, 是选择三角帆蚌内壳色最方便的时期; 三角帆蚌壳长、壳宽、壳高和体重等生长性状呈显著正相关, 壳长是5月龄三角帆蚌最易测量的生长性状, 选择壳长性状可实现对三角帆蚌各生长性状的间接选择。本研究以三角帆蚌

蚌壳长性状和贝壳深紫色为选育性状, 首次制定不同的中选率, 并借助依次选择法, 对5月龄三角帆蚌‘申紫1号’F₁代进行早期选择, 评估依次选择法的性状选择顺序和不同中选率对三角帆蚌生长和壳色性状的早期选择效应, 以期优化三角帆蚌的早期选择方法, 进一步改良壳色和生长性状, 并为今后的淡水珍珠蚌的选育工作提供理论基础和科学依据(金武等, 2012)。

1 材料与方法

1.1 蚌苗繁育

2015年5月, 在安徽省宣城市裘公乡三角帆蚌良种繁育基地, 挑选性状优良的紫色三角帆蚌‘申紫1号’做亲本, 分辨出雌雄蚌, 分别吊养于同一池塘里, 进行亲本培育, 每隔1d, 检查母蚌怀卵情况, 选取同一天怀卵的母蚌100只, 按常规方法培育蚌苗, 获得稚蚌。

1.2 实验设置

2018年7月中旬, 稚蚌出池时, 进行初次筛选。该时期中选率为10%, 用网筛从三角帆蚌‘申紫1号’F₁育苗池中挑选出约5600只大规格稚蚌, 网筛的网孔边长为1cm的正方形, 将挑选出的稚蚌分别吊养在同一池塘的56个网箱中, 每个网箱放养100只, 养殖期间, 进行科学管理和定期施肥。

待三角帆蚌长至5月龄时开展研究。设定该时期综合中选率为10%, 以壳长性状和贝壳颜色深紫色为选育指标, 分别设置不同的中选率, 按不同的选择顺序, 共设置7种依次选择法(表1)。壳长(SL)为第1选择性状, 贝壳深紫色(PN)为第2选择性状, 设定3种中选率组合, 形成SL 50% × PN 20%(I)、SL 30% × PN 33%(II)、SL 20% × PN 50%(III)3种选择方法; 贝

表1 不同选择方法的性状选择顺序和中选率
Tab.1 The selected trait order and retention rate of different selection methods

项目 Items	选择方法 Selection methods														
	I		II		III		IV		V		VI		VII		
选择顺序 Selection order	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2	第1	第2	无
选育性状 Breeding traits	SL	PN	SL	PN	SL	PN	PN	SL	PN	SL	PN	SL	PN	SL	SL, PN
中选率 Retention rate(%)	50	20	30	33	20	50	50	20	30	33	20	50			
综合中选率 Comprehensive retention rate(%)	10		10		10		10		10		10		10		

注: SL为壳长性状, PN为贝壳颜色深紫性状

Note: SL is the shell length; PN is the deep purple shell

壳深紫色(PN)为第 1 选择性状, 壳长(SL)为第 2 选择性状, 设定 3 种中选率组合, 形成 PN 50% × SL 20%(IV)、PN 30% × SL 33%(V)、PN 20% × SL 50%(VI) 3 种选择方法。另外, 根据经验, 同步挑选壳色深紫色和体型大的个体作为对照组, 中选率为 10%, 选择方法为 SI 10%(VII)。将 5600 只 5 月龄三角帆蚌随机分成 7 组, 依据上述 7 种选择方法分别进行挑选, 最终将每种方法选留的 80 只三角帆蚌平均放入 4 个网箱(40 cm × 40 cm × 40 cm)中, 所有网箱放回原先池塘, 以 40 cm 水深继续吊养。定期施肥, 进行科学管理(张元培等, 1996)。

1.3 性状测量

2015 年 12 月, 从每个选择方法中随机挑选出 60 只蚌, 测量壳长、壳高、壳宽、体重、外套膜重和壳重。使用游标卡尺测量壳长、壳高、壳宽这 3 个长度性状, 精确度为 0.01 mm。三角帆蚌洗净擦干后, 使用电子天平称量体重, 精确度为 0.01 g。对三角帆蚌进行解剖, 去除内脏团, 将分离出的外套膜进行称重, 将壳阴干后进行称量, 精确度为 0.01 g(李清清等, 2015)。

使用 Lovibond RT Colour V3.0 软件的 CIEL**a***b** 系统和 Lovibond-RT 200 表面色度计对三角帆蚌内壳色测量。测量参数包括明度(*L*^{*})、色度 *a*(*a*^{*})、色度 *b*(*b*^{*}) 和色差值(*dE*^{*})。 *L*^{*} > 0 为颜色偏白, *L*^{*} < 0 为颜色偏黑, *L*^{*} 越小, 表明颜色越深; *a*^{*} > 0 为颜色偏红, *a*^{*} < 0 为颜色偏绿; *b*^{*} > 0 为颜色偏黄, *b*^{*} < 0 为颜色偏蓝; *dE*^{*} 为所测样品和标准白之间的色差, *dE*^{*} 值越大, 表明贝壳颜色越丰富。因此, *L*^{*} 越小, *dE*^{*} 值越大时, 紫色三角帆蚌内壳颜色更深、更丰富。测量前, 先将内壳洗净晾干, 依次对前闭壳肌(A3)、左壳边缘部位的外套痕与纵肋的交叉处(A2)、后闭壳肌处进行壳色测量(A1) (图 1), 取每个蚌 3 个点的颜色参数值的平均值作为该个体的内壳色数据(吴雷明等, 2016)。



图 1 内壳色测量位置示意
Fig.1 Schematic diagram of measured positions of inner shell color

1.4 数据统计与处理

采用 Excel 2016 软件对原始数据进行初步整理, 再用 SPSS Statistics V22.0 统计软件对 7 种选择方法选留的三角帆蚌的壳长、壳高、壳宽、体重、外套膜重、壳重生长性状和 *L*^{*}、*a*^{*}、*b*^{*} 和 *dE*^{*} 内壳颜色参数等测量值进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 数据采用平均值 ± 标准差(Mean ± SD)表示(李梦军等, 2006)。

2 结果与分析

2.1 不同选择方法选育出的三角帆蚌的生长性状差异

采用 7 种选择方法选出的三角帆蚌的各生长性状的统计描述见图 2。从图 2 可以看出, 方法 IV 和方法 I 的生长性状早期选择效果最好, 方法 IV 选择的三角帆蚌壳长和壳宽表现最优(图 2A、图 2C), 方法 VI 选择的三角帆蚌的壳宽、体重最优(图 2C、图 2D)。

在以壳长为第 1 选择性状的方法 I~方法 III(SL × PN)中, 壳长的中选率分别为 50%、30%和 20%, 但方法 I 和方法 III 的早期选择效应优于方法 II; 在以壳长为第 2 选择性状的方法 IV~方法 VI(PN × SL)中, 壳长性状的中选率分别为 20%、33%和 50%, 但方法 IV 和方法 VI 的早期选择效应优于方法 V。从方法 I SL × PN 与方法 IV PN × SL 整体对比可以发现, 后 3 种方法选出的三角帆蚌, 后期在壳长、壳高、壳宽、体重、外套膜重、壳重方面表现更优, 表明壳长性状的选择顺序对选留个体生长性状的表现具有显著影响。以贝壳深紫色(PN)为第 1 选择性状、壳长作为第 2 选择性状的选择方法(PN × SL), 可以选育出后期生长性状更优的三角帆蚌。

壳长性状中选率相同, 选择顺序不同时, 中选率对选留个体生长性状表现的影响不明显。方法 I 和方法 VI 的壳长性状的中选率都是 50%, 仅选留个体的外套膜重存在显著差异, 其他性状间无显著差异(*P* < 0.05); 方法 III 和方法 IV 的壳长性状的中选率都是 20%, 选留个体后期各生长性状均未呈现显著差异。

2.2 不同选择方法选育出的三角帆蚌贝壳颜色差异

采用 7 种选择方法选出的三角帆蚌各贝壳颜色参数的统计描述见图 3。从图 3 可以看出, 方法 I~方法 III 选留的三角帆蚌 *L*^{*} 值较低, 显著低于其他 4 种选择方法, 其中, 方法 IV 的 *L*^{*} 值最大(*P* < 0.05)。方法 IV 的 *a*^{*} 值最大, 显著高于其他 6 种选择方法选留的三角帆蚌(*P* < 0.05)。方法 II 和方法 III 的 *b*^{*} 值最大, 显著高于方法 VI, 方法 IV 的 *b*^{*} 值最小(*P* < 0.05)。方

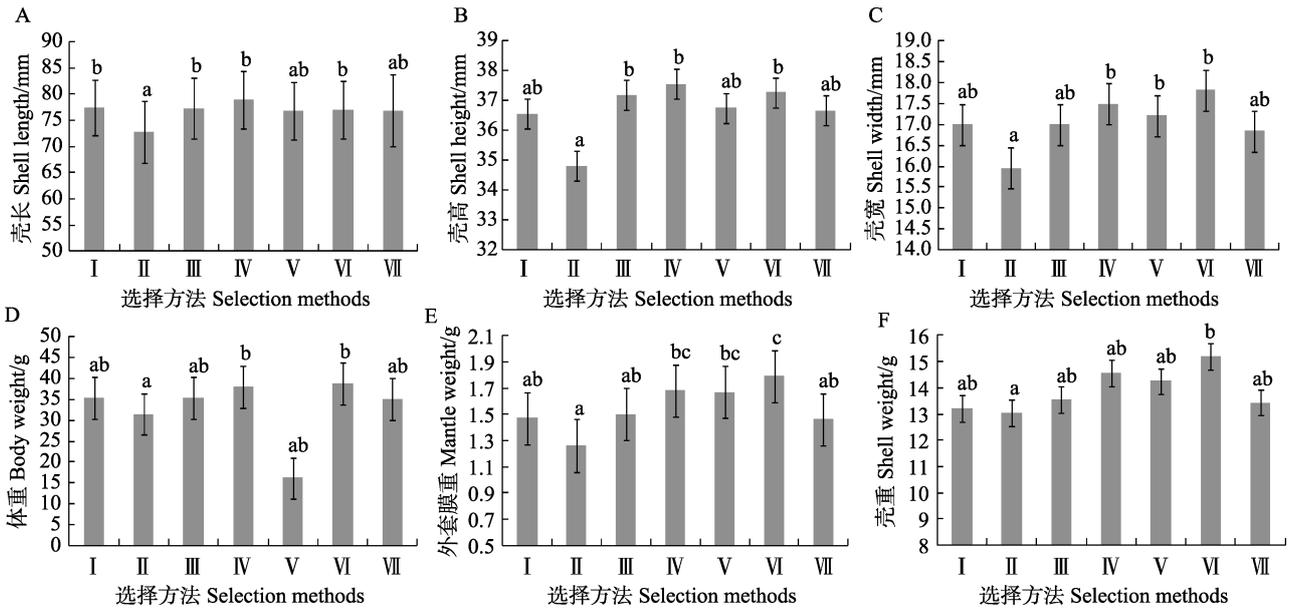


图2 不同选择方法对三角帆蚌生长性状的影响
Fig.2 Effects of different selection methods on growth traits of *H. cumingii*

不同字母之间代表差异显著($P < 0.05$), 下同
Different letters represent significant difference ($P < 0.05$), the same as below

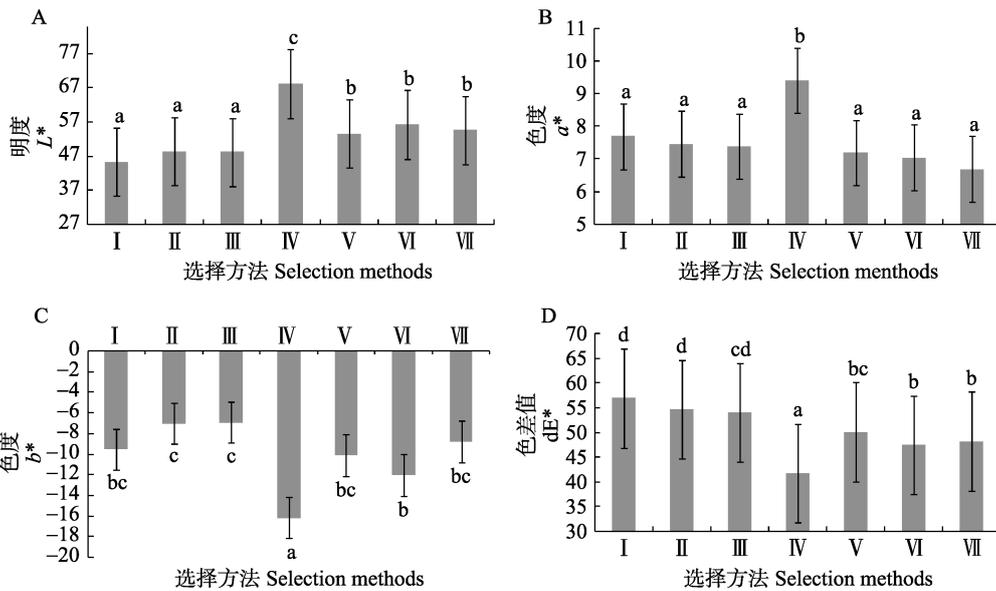


图3 不同选择方法对三角帆蚌内壳色参数的影响
Fig.3 Effects of different selection methods on inner shell color parameters of *H. cumingii*

法 I~方法 III 的 dE^* 值最大(图 3), 三者间无显著差异, 除方法 III 与方法 V 间未见显著差异外, 该 3 种方法的 dE^* 值均显著大于其他方法。

以贝壳深紫色(PN)为第 2 选择性状的方法 I~方法 III(SL×PN)中, 贝壳深紫色的中选率分别为 20%、33%和 50%, 各方法选留三角帆蚌的颜色参数均无显著差异; 以贝壳深紫色为第 1 选择性状的方法 IV~方法

VI(PN×SL)中, 贝壳深紫色的中选率分别为 50%、30%和 20%, 方法 IV 各颜色参数性状与其他各组相比, 均呈现显著差异, 方法 V 和方法 VI 间各颜色参数无显著差异。

3 讨论

近年来, 市场和消费者对淡水珍珠质量的要求越来越高, 培育优质淡水珍珠蚌、提升珍珠质量是淡水

珍珠产业提质增效、绿色发展的必经之路。李祥孔等(2017)和栾生等(2008)研究表明,在水产动物育种中,进行个体选择或者家系选择时,育种值选择效率都显著高于表型值选择,但是,在三角帆蚌的实际育种工作中,单纯的家系选育会提高近交衰退率,从颜色参数和生长性状育种值高的家系中,选择颜色较好且生长较快的个体补充选育群体,可降低减少近交系数(吴雷明等, 2016)。对照组Ⅶ和其他6种选择方法的结果显示,凭借常规经验选出的三角帆蚌生长性状和壳色表现不突出,这进一步说明优化选育方法的必要性。三角帆蚌是我国最主要的淡水育珠母蚌,本研究以壳长性状和贝壳颜色深紫为选育指标,对三角帆蚌进行早期复合选择,以期优化选择方法,为今后的选育工作提供一定的基础。

3.1 三角帆蚌生长和壳色性状的选择顺序对选择效果的影响

本研究以不同的顺序依次选择性状,研究三角帆蚌生长和壳色性状早期复合选择效应发现,以贝壳深紫色(PN)为第1选择性状的方法(PN×SL)可以选育出后期生长性状更优的三角帆蚌,表明对于生长性状的早期选择效果优于以壳长性状(SL)为第1选择性状的选择方法(SL×PN);以壳长性状为第1选择性状的方法(SL×PN)选出的三角帆蚌,后期贝壳紫色表现更优,表明对于壳色的早期选择效果优于以贝壳深紫色为第1选择性状的选择方法(PN×SL)。以上结果表明,选择顺序对于选择效果影响显著,目标性状的选择顺序不同,导致选择方法的选择效果不同。在实际生产中依次选择时,对于更加关注的目标性状,应该最后选择,选择效果更佳。供片贝提供外套膜细胞小片给育珠贝,育珠贝接受细胞小片,细胞小片形成珍珠囊,珍珠囊分泌珍珠质形成珍珠,珍珠的培育过程需要供片贝和育珠贝共同参与(吴曼等, 2014)。供片贝对珍珠颜色性状的影响很大,同种育珠贝对珍珠颜色性状影响较小,主要对珍珠的生长速度起着关键作用(Zhao *et al.*, 2013; 刘越, 2013; 白志毅等, 2008; 徐在宽等, 1992)。李清清等(2015)对于紫色三角帆蚌选育系F₅育珠性状的研究发现,供片贝内壳色dE越大,所产紫色珍珠比例越大。张文府(2013)通过将育珠贝家系和小片贝家系分开选育以研究4种壳色的马氏珠母贝(*Pinctada martensi*)。所以,在培育三角帆蚌稚蚌的时候,凭借以贝壳深紫色为第1选择性状的选择方法(PN×SL)挑选育珠贝,凭借以壳长作为第1选择性状的选择方法(SL×PN)挑选供片贝,将供片贝和育珠贝分开选育,既便于工人管理又可节省养殖成本。

3.2 早期中选率对三角帆蚌生长性状和壳色选择效果的影响

本研究发现,不同中选率对选留个体性状的选择效果不同,方法Ⅰ~方法Ⅲ的壳长性状中选率逐渐降低,贝壳深紫色(PN)中选率逐渐提高,方法Ⅳ和方法Ⅴ对于生长性状的早期选择效应优于方法Ⅲ,这3种方法选留个体的颜色参数却均未见显著差异。选择方法Ⅳ~方法Ⅵ的壳长性状(SL)中选率逐渐提高、贝壳深紫色(PN)中选率逐渐降低,方法Ⅳ和方法Ⅵ的对于生长性状的早期选择效应优于方法Ⅴ,方法Ⅳ选留个体的颜色参数与其他方法均呈显著差异,方法Ⅴ和方法Ⅵ间各颜色参数却未见显著差异。以上结果表明,中选率和性状选择效果不是线性关系。

贝壳深紫色性状被选顺序不同中选率相同的方法中,选择方法的选择效果不同。方法Ⅳ和方法Ⅵ的壳长性状(SL)中选率为50%,贝壳深紫色(PN)中选率为20%时,仅选留个体后期的外套膜重存在显著差异,其他生长性状间未呈现显著差异($P < 0.05$),但方法Ⅳ选留三角帆蚌贝壳颜色参数 L^* 和 dE^* 大于方法Ⅵ,方法Ⅳ对贝壳紫色的选择效果优于方法Ⅵ。方法Ⅳ和方法Ⅵ的壳长性状(SL)中选率是20%,贝壳深紫色性状(PN)中选率为50%时,这2种方法选留个体后期各生长性状均未呈现显著差异,方法Ⅲ各颜色参数性状与方法Ⅳ均呈现显著差异,方法Ⅳ对贝壳紫色的选择效果优于方法Ⅳ。从以上结果可以看出,选择效果不仅和中选率有关,还受复合选择效应的综合影响。在大型育珠工作中,提高育珠贝的生长速度,尽快达到插片规格,提高供片贝的贝壳深紫色度,选育出贝壳深紫性状优良的三角帆蚌供片贝和生长性状优良的三角帆蚌育珠贝,这是培育优质紫色珍珠的有效方法。本研究以贝壳深紫色和壳长为目标性状,依次选择生长性状和壳色性状来研究三角帆蚌生长和壳色性状的复合选择效果,可为三角帆蚌复合选育工作提供理论依据和数据支持。

参 考 文 献

- Bai ZY, Li JL, Wang GL. Relationship between pearl production, growth traits and the inserted position of mantle piece in triangle mussel (*Hyriopsis cumingii*). *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(3): 493-499 [白志毅, 李家乐, 汪桂玲. 三角帆蚌产珠性能与生长性状和插片部位的关系. *中国水产科学*, 2008, 15(3): 493-499]
- Ge JL, Li Q, Yu H, *et al.* Selection response in mass selection of golden shell Pacific oyster (*Crassostres gigas*). *Journal of*

- Fisheries of China, 2016, 40(4): 612–617 [葛建龙, 李琪, 于红, 等. 长牡蛎壳金选育群体生长性状的选择效应. 水产学报, 2016, 40(4): 612–617]
- Gu ZF, Huang FS, Wang H, *et al.* Contribution of donor and host oysters to the cultured pearl colour in *Pinctada martensii*. *Aquaculture Research*, 2014, 45(7): 1126–1132
- Jin W, Li JL, Fu LL, *et al.* Genetic parameter estimates for growth traits in the earlier larva stage of *Hyriopsis cumingii*. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(8): 1209–1214 [金武, 李家乐, 付龙龙, 等. 三角帆蚌早期阶段生长性状遗传参数估计. 水产学报, 2012, 36(8): 1209–1214]
- Kong J, Luo K, Luan S, *et al.* The new variety of *Fenneropenaeus chinensis* “Huanghai No.2”. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(12): 1854–1862 [孔杰, 罗坤, 栾生, 等. 中国对虾新品种“黄海 2 号”的培育. 水产学报, 2012, 36(12): 1854–1862]
- Li D, Liu CL, Li A, *et al.* Principal component analysis of the morphometric traits of the cuttlebone of *Sepia esulenta* at early development stages. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(5): 41–49 [李达, 刘长琳, 李昂, 等. 金乌贼 (*Sepia esulenta*) 早期发育阶段内壳形态学指标的主成分分析. 渔业科学进展, 2017, 38(5): 41–49]
- Li MJ, Yang PH. Study on selection breeding technology of *Hyriopsis cumingii*. *Inland Fisheries*, 2006, 31(3): 38–40 [李梦军, 杨品红. 三角帆蚌选择育种技术研究. 内陆水产, 2006, 31(3): 38–40]
- Li QQ, Bai ZY, Liu XJ, *et al.* Correlation analysis of non-nucleated pearl quality parameters with growth traits and inner shell color of *Hyriopsis cumingii*. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(11): 1631–1639 [李清清, 白志毅, 刘晓军, 等. 三角帆蚌生长性状和内壳色与所产无核珍珠质量的相关性分析. 水产学报, 2015, 39(11): 1631–1639]
- Li XK, Tian YS, Li H, *et al.* Genetic effect analysis of growth traits in *Paralichthys olivaceus* families. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(3): 39–50 [李祥孔, 田永胜, 李洪, 等. 牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 家系生长性状遗传效应分析. 渔业科学进展, 2017, 38(3): 39–50]
- Liang FL, Xie SH, Lin WC. Progress on pearl production from *Hyriopsis cumingii*. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2015 (2): 113–118 [梁飞龙, 谢绍河, 林伟财. 三角帆蚌人工育珠研究进展. 海洋湖沼通报, 2015(2): 113–118]
- Liu Y. The effect of donor *Hyriopsis cumingii* on the quality of pearls. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2013 [刘越. 三角帆蚌供片蚌对珍珠质量的影响. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2013]
- Lou YD. *Fish breeding*. Beijing: China Agriculture Press, 1999, 40 [楼允东. 鱼类育种学. 北京: 中国农业出版社, 1999, 40]
- Luan S, Kong J, Wang QY. Methods and application of aquatic animal breeding value estimation: A review. *Marine Fisheries Research*, 2008, 29(3): 101–107 [栾生, 孔杰, 王清印. 水产动物育种值估计方法及其应用的研究进展. 海洋水产研究, 2008, 29(3): 101–107]
- Wang GL, Bai ZY, Liu XJ, *et al.* Research progress on germplasm resources of *Hyriopsis cumingii*. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1618–1627 [汪桂玲, 白志毅, 刘晓军, 等. 三角帆蚌种质资源研究进展. 水产学报, 2014, 38(9): 1618–1627]
- Wang XL, Li Q, Yu H, *et al.* Estimates of genetic parameters for golden shell color and correlation with growth traits in the golden shell strain of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(12): 1889–1896 [王雪磊, 李琪, 于红, 等. 长牡蛎壳金性状遗传参数评估及与生长性状的关联分析. 水产学报, 2016, 40(12): 1889–1896]
- Wang XY. Research on the key factor of triangle mussel (*Hyriopsis cumingii*) bread pearl. Master's Thesis of Hunan Agricultural University, 2011 [王晓艳. 影响三角帆蚌育珠效果关键因子研究. 湖南农业大学硕士研究生学位论文, 2011]
- Wang ZQ, Han XK, Bai ZY, *et al.* Estimates of genetic parameters for inner shell color and growth traits during one year old stage in the purple strain of *Hyriopsis cumingii* using microsatellite based parentage assignment. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(5): 644–650 [王照旗, 韩学凯, 白志毅, 等. 三角帆蚌紫色选育系 1 龄阶段内壳色及生长性状的遗传参数估计. 水产学报, 2014, 38(5): 644–650]
- Wu JL, Zhou WD, Jiang JF, *et al.* Comparison of different selection methods for Chinese Holstein bulls. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2011(2): 420–422 [吴建良, 周卫东, 姜俊芳, 等. 中国荷斯坦奶牛不同选择方法的比较. 浙江农业科学, 2011(2): 420–422]
- Wu LM, Bai ZY, Liu XJ, *et al.* Evaluation of shell color and growth traits for F₅ of the freshwater pearl mussel. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(3): 547–554 [吴雷明, 白志毅, 刘晓军, 等. 三角帆蚌 F₅ 壳色及生长性状选育效果评价. 中国水产科学, 2016, 23(3): 547–554]
- Wu M, Liu BS, Huang GJ, *et al.* Analysis of shell nacre color in full-sib families of pearl oyster (*Pinctada fucata*). *South China Fisheries Science*, 2014, 10(6): 44–50 [吴曼, 刘宝锁, 黄桂菊, 等. 合浦珠母贝全同胞家系贝壳珍珠质颜色分析. 南方水产科学, 2014, 10(6): 44–50]
- Xu ZK, Xu DZ, Wu Q. The relationship between the supplier and the acceptor of mantle piece and its effects on pearl quality. *Journal of Aquaculture*, 1992(2): 16–18 [徐在宽, 徐大中, 武攀. 小片与蚌间的关系对珍珠质量的影响. 水产养殖, 1992(2): 16–18]
- Zhang WF. Study on the families selection of the four shell colors *Pinctada martensii* as culturing pearl and mantle tissue donors. Master's Thesis of Guangdong Ocean University, 2013 [张文府. 马氏珠母贝四种壳色选育系中育珠贝家系和小片贝家系的选育研究. 广东海洋大学硕士

研究生学位论文, 2013]

Zhang YP, Han DJ. Studies on optimum water layer for rearing pearls (*Hyriopsis cumingii*) in Yuanjiahu Lake. *Journal of Lake Sciences*, 1996, 8(1): 60–66 [张元培, 韩德举. 袁家湖三角帆蚌 *Hyriopsis cumingii* 最佳育珠水层的试验研究.

湖泊科学, 1996, 8(1): 60–66]

Zhao YC, Bai ZY, Fu LL, *et al.* Comparison of growth and pearl production in males and females of the freshwater mussel, *Hyriopsis cumingii*, in China. *Aquaculture International*, 2013, 21(6): 1301–1310.

(编辑 陈严)

The Optimization of Early Compound Selection for Growth Traits and Shell Color in *Hyriopsis cumingii*

SUN Chaohu^{1,3}, BAI Zhiyi^{2,3①}, LI Qingqing^{1,3}, PENG Jianqing^{1,3}, LI Jiale^{1,2,3}

(1. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

2. Key Laboratory of Genetic Resources for Freshwater Aquaculture and Fisheries,

Shanghai Ocean University, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306;

3. Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai 201306)

Abstract At the early stage, the shell of the strain F₁ of “Shenzi No.1” *Hyriopsis cumingii* is transparent, so the workload involved in selection and improving the breeding efficiency can be reduced at this stage. In this study, seven different selection methods were tested with different selection orders and retention rates of objective traits. When shell length (SL) was the first trait selected and a deep purple shell (PN) was the secondarily selected trait, the different methods used were SL 50% × PN 20%, SL 30% × PN 33%, and SL 20% × PN 50%. However, when the selection order was the opposite of this, the selection methods used were PN 50% × SL 20%, PN 30% × SL 33%, and PN 20% × SL 50%. Moreover, according to conventional experience, juveniles with a deep purple shell and large size were selected simultaneously in a seventh control group. This was done to compare the experimental results of this control group with those of the other six methods. The total retention rate of each method was 10%. After five months of culture, the growth traits (shell length, shell height, shell width, body weight, mantle weight, and shell weight) and the inner shell color parameters (*L*, *a*, *b*, and *dE*) of the selected mussels were measured to evaluate the early selection effects of these seven methods. The results showed that the different selection methods led to differences in the effects of early selection. The growth traits of individuals selected by the PN 50% × SL 20% and PN 20% × SL 50% methods were the best, while the selection effect of the SL 30% × PN 33% method was the worst. However, when the deep purple shell was selected as the objective trait, the other three methods (SL 50% × PN 20%, SL 30% × PN 33% and SL 20% × PN 50%) were better than the above methods. The selection effect of the SL 30% × PN 33% method was the worst for the growth traits. The traits of *H. cumingii* selected by the traditional method were not prominent in any of the experimental groups. The method of taking SL as the first selection trait was SL × PN, while the method of taking PN as the first selection trait was PN × SL. In the early stage, the SL × PN method can be used to select for clams with a deep purple shell color, while the PN × SL method can be used to select for larger clams. The results showed that the selection order had a significant impact on the selection effect. In addition, when the traits with higher expectations were selected at the end, the effect of the selection was better. Further more, both the retention rate and the compound selection response affected the selection effect.

Key words *Hyriopsis cumingii*; Early selection; Growth trait; Shell color; Selection order; Retention rate

① Corresponding author: BAI Zhiyi, E-mail: zybai@shou.edu.cn