

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.00077

电子标记辅助虹鳟家系建立及快速生长家系筛选

户国, 谷伟, 王鹏, 白庆利, 王炳谦

中国水产科学研究院 黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070

摘要: 以中国水产科学研究院黑龙江水产研究所选育的虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)优良品系 G1 世代为基础群体, 开展了电子标记辅助的大规模虹鳟家系构建工作, 建立了 G2 世代全同胞家系 72 组, 并初步进行了快速生长家系的筛选工作。对不同家系鱼种进行电子芯片植入后放在同池进行生长比较, 本研究中虹鳟上市日龄(约为 850 日龄)体质量、体长的总体家系效应都达到了极显著水平($P < 0.0001$); 通过对不同家系间 850 日龄体质量和体长的家系效应显著性检验与最小二乘均值的多重比较分析, 获得了 682BABB、6717B7A、6828308、682A50A、6829C24、6829DC7、682A382、68284DA 这 8 个体质量和体长性能优良的家系。上述家系将作为优先入选家系进入组建 G3 世代的储备亲本群体。本研究结果可以与本课题组先期开展的基于个体育种值 BLUP 分析的多性状复合育种工作相互印证。这将有助于提高对虹鳟生长性状进行遗传选择的准确性, 同时对其他水生动物数量性状的遗传选育研究也具有借鉴意义。

关键词: 虹鳟; 电子标记; 家系; 选育; 快速生长

中图分类号: S961

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)01-0077-07

虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)属鲑形目(Salmoniformes), 鲑科(Salmonidae), 鲑亚科(Salmoninae), 大麻哈鱼属, 原产于北美地区, 目前虹鳟已成为世界性的重要养殖鱼类之一^[1]。据 FAO 统计, 2008 年世界虹鳟总产量约为 57.6 万 t。世界范围内最大的虹鳟生产国是智利, 其次为挪威、土耳其、丹麦、芬兰、法国、意大利等欧洲国家, 亚洲国家伊朗的虹鳟产量也比较大^[2]。现阶段, 芬兰、挪威等欧洲国家在虹鳟育种研究和产品开发利用等领域均处于世界领先地位^[3-4]。

早在 20 世纪 30 年代, 美国学者道纳尔逊就率先开展了虹鳟的群体选育, 成功选育出优质虹鳟道氏品系^[5]。但是, 由于很难避免由于近交引起的生产性能的衰退, 因此, 群体选育的育种周期可能会大大延长^[6]。一种将计算机技术与现代数

量遗传育种方法相结合的复合育种技术——电子标记辅助的家系选育技术可以有效地解决这一问题。运用这项技术不但可以消除由近亲交配引起的遗传衰退, 有效地积累有益基因, 还可以实现不同家系相同环境对比生长试验, 克服环境方差对基因型的影响, 极大地提高了水产动物的遗传选择效果^[7]。由于电子标记和多性状复合育种的引入, 使得现代水产动物选育方法更加快捷、方便、有效。简单的说, 可以在一个选育周期内同时对多个经济性状进行选择^[8]。在中国, 鲤、鲢、鳙鱼类、中国明对虾、海湾扇贝等多种水产动物已经开展了家系选育实践, 并获得了良好的遗传进展^[9-15]。

20 世纪 90 年代以来, 芬兰人利用电子标记辅助的大规模家系选育技术, 依赖于表型值和育种

收稿日期: 2011-04-24; 修订日期: 2011-07-18.

基金项目: 农业部公益性行业科研专项经费项目(201003055); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(201008, 201110); 农业部淡水水产生物技术与遗传育种重点实验室(2011NYBSJ-02).

作者简介: 户国(1984-), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为分子遗传与动物育种. E-mail: huguo@126.com.

通信作者: 王炳谦, 研究员, 主要从事冷水性鱼类养殖和遗传育种研究. E-mail: wbqfish@yahoo.com.cn

值对虹鳟进行了多世代的遗传选育并取得了显著的进展,成功地培育出虹鳟 JALO 品系,其生长速度和肉产量明显提高^[4]。在中国,自 1959 年起先后从不同国家引进了数个虹鳟品系,经过几十年的繁育,这些品系已经产生程度不同的混杂,生产性能严重退化,使得品种问题成为制约中国虹鳟养殖业发展的一个重要瓶颈因素^[16]。因此,培育优良的品种对于促进中国虹鳟养殖生产、提高效益、打入国际市场具有重要意义。

本研究采用以美国加州、美国道氏、丹麦、挪威、中国渤海品系这 5 个地理种群作为基础群体获得的虹鳟优良品系 G2 世代作为试验材料,利用电子标记辅助技术建立起 72 个全同胞家系,对 850 日龄体质量、体长等性状进行了统计分析,评定并从中筛选优良家系。本研究的结果可以为虹鳟优良品系的选育以及优质虹鳟制种繁育技术体系的建立提供参考依据,并可以为采用分子标记辅助育种等技术手段进行虹鳟种质创新奠定必要的遗传基础。

1 材料与方法

1.1 G1 世代群体建立

实验在中国水产科学研究院黑龙江水产研究所渤海冷水性鱼类试验站进行。本研究的基础群 G0 建立于 2001 年,由 A 品系—中国渤海品系(由朝鲜品系与日本品系群体混杂形成的品系)、B 品系—丹麦品系(来自丹麦的一个品系)、C 品系—挪威品系(来自挪威)、D 品系—道氏品系(道氏优质虹鳟)和 E 品系—加州品系(来自美国加州)等 5 个地理远缘品系建立 G0 基础群体。在 2004 年的繁殖期,每一品系根据体质量排序,雌雄各取前 3 名,采用 5×5 完全双列杂交建立 G1 群体,共计 75 个全同胞家系(表 1)^[17]。该群体所有个体都有清晰的系谱和表型记录,系谱建立的方法参见文献^[18]。

1.2 G2 世代选育家系组建

首先采用单性状重复观测值动物模型(重复力模型),对上述 G1 世代的 4 026 尾虹鳟的生长性状(体质量、体长和肥满度)进行了遗传参数和育种值的估计,并对各个性状的表型和遗传趋势进

表 1 G1 世代虹鳟群体内家系的组建方式
Tab. 1 Family establishment method in the rainbow trout population of the first generation(G1)

母本 maternal	父本 paternal				
	A	B	C	D	E
A	A × A	A × B	A × C	A × D	A × E
B	B × A	B × B	B × C	B × D	B × E
C	C × A	C × B	C × C	C × D	C × E
D	D × A	D × B	D × C	D × D	D × E
E	E × A	E × B	E × C	E × D	E × E

注: A. 中国渤海品系; B. 丹麦品系; C. 道氏品系; D. 挪威品系; E. 加州品系。

Note: A.Chinese Bohai strain; B. Danmark strain; C. Danaldson strain; D. Norway strain; E. California strain.

行预测。然后利用指数选择法设定上述性状的权重,并计算综合育种值,进而对虹鳟个体进行选择价值的评定和名次排列^[8]。采用数量遗传学方法,就体质量和体长对 G1 所有组配方式进行配合力分析,并结合对渤海、丹麦、道氏、挪威、加州 5 个虹鳟品系遗传距离分析及聚类分析结果,淘汰生产性能以及配合力均较低的组配方式^[18]。最后,选择综合育种值排序靠前,无亲缘关系的个体进一步组建 G2 家系,建立在体质量性状、体长性状、加工产量、雌性产卵日期以及繁殖力等重要经济性状都存在较大变异的 G2 群体,共计有 72 个全同胞家系。

1.3 饲养管理

每一个家系放入一个同环境同水源的联排独立选育单元进行孵化及驯养,待个体平均体质量达到 0.5 g 时分别移入相同水源的独立选育缸内。为进一步减小环境差异,对上述获得的优质健康虹鳟苗种,在虹鳟个体体质量大约 50 g 时,利用 PIT 标记(ID-100 型,英国 Trovan 公司)进行标记后,进行同池同环境饲养^[19]。实验群体在黑龙江水产研究所渤海冷水性鱼类试验站管理养殖至商品鱼上市阶段(一般为 2~2.5 龄),各阶段均饲以智利 SalmonFood 公司 VitaCare 优质全价配合饲料。

1.4 性状测定

在 2008 年 4 月入池时,以及 2010 年 4 月,即商品鱼出池上市时,对全部个体进行体质量、体长等生长性状的测定。入池和出池时,采用标记

感读器读取所有个体的电子标记, 除去标记流失的个体, 共计获得了 2 157 尾个体的有效数据。

1.5 数据统计分析

构建广义线性模型:

$$Y = \mu + F + a + T_0 + e$$

其中, Y 是性状观察值; μ 是群体表型均值, F 是家系效应, 作为固定效应; a 是个体效应, 作为随机效应; T_0 是入池时的个体表型值, 作为协因子以校正个体初始性状的差异对最终结果造成的影响; e 是随机误差。采用 JMP7.0 统计分析软件 GLM 模块利用上述模型对家系效应进行显著性检验以及各家系表型值最小二乘均值的多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 各家系个体数分布的描述性统计

本研究中以个体母本的编号为家系编号。入池和出池时, 采用标记感读器读取所有个体的电子标记, 除去标记流失的个体, 核对系谱, 将上述 2 157 尾个体对应到 71 个家系中, 家系编号以及每个家系子代个体数的具体情况如图 1 所示。

2.2 不同家系间 850 日龄体质量的家系效应的显著性检验与最小二乘均值的多重比较

本研究对所有全同胞家系 850 日龄体质量的测量结果, 按 1.5 中给出的统计模型进行回归分析, 对家系效应进行显著性检验以及最小二乘均

值的多重比较分析。由于涉及家系众多, 而本研究的目的在于对优秀家系的筛选, 于是, 本研究对全部家系后代经校正后的 850 日龄体质量最小二乘均值进行排序, 并给出了排名前 25 名家系的显著性检验与最小二乘均值多重比较结果(表 2)。显著性检验结果表明, 本研究中总体家系效应达到了极显著水平($P < 0.01$); 对每个家系效应参数估计的结果表明, 针对上市体质量这一性状, 6717B7A、682A50A、682C95F、682D75A、682BABB、682A382、671565D、6828308、682B5BF、6829C24、68284DA、682D387、682A374、6829DC7 这 14 个家系的家系效应都达到显著($P < 0.05$)。最小二乘均值的多重比较分析结果表明, 不同家系 850 日龄体质量均值之间确实存在着差异, 有些家系间的差异达到了显著水平($P < 0.05$)。

2.3 不同家系 850 日龄体长的家系效应的显著性检验与最小二乘均值的多重比较

本研究对所有全同胞家系 850 日龄体长的测量结果, 按 1.5 中给出的统计模型进行了回归分析, 对家系效应进行显著性检验以及最小二乘均值的多重比较分析。与上市体质量相似, 对全部家系后代经校正后的 850 日龄体长最小二乘均值进行排序, 并给出了排名前 25 名家系的显著性检验与最小二乘均值多重比较结果(表 3)。显著性检验结果表明, 本研究中总体家系效应达到了极显

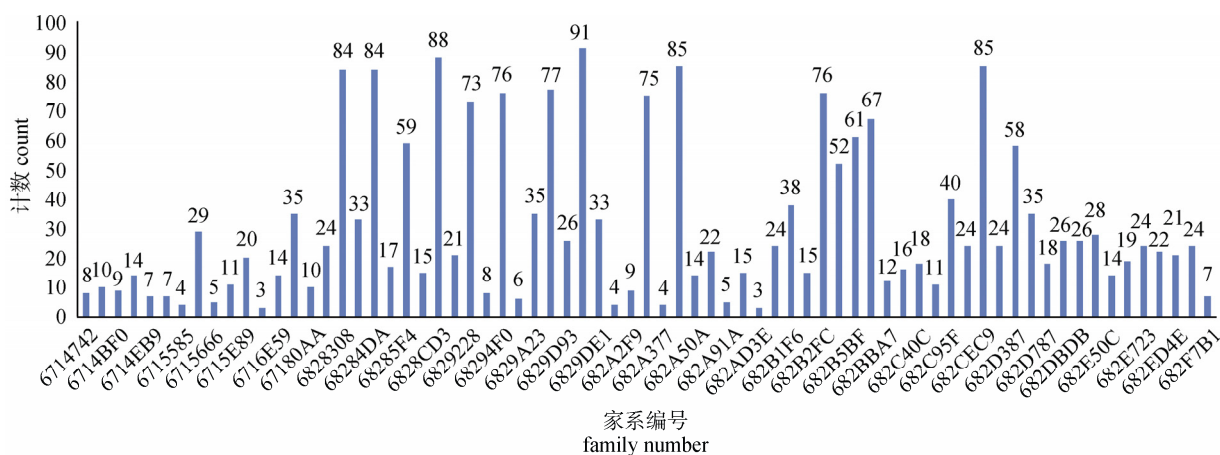


图 1 虹鳟各家系个体数分布情况的描述性统计

Fig.1 Descriptive statistics of the sample size in each family of rainbow trout

表 2 850 日龄体质量排名前 25 名家系的家系效应显著性检验与最小二乘均值的多重比较结果

Tab. 2 Influence of family effect on body weight on the 850th day since fertilization and multiple comparison of least squares means of the top 25 ranked families

$n=2157$; $\bar{x} \pm SE$

家系编号 family number	P	最小二乘均值 least square mean
6717B7A	8.904×10^{-8}	1350.228 ± 35.212^A
682A50A	8.872×10^{-4}	1345.525 ± 56.007^{AB}
682C95F	1.592×10^{-5}	$1305.358 \pm 33.432^{ABC}$
682D75A	5.853×10^{-5}	$1304.055 \pm 35.634^{ABCD}$
6715585	0.172	$1301.049 \pm 103.896^{ABCDEFGHI}$
682BABB	7.891×10^{-7}	1296.293 ± 26.311^{AB}
6715E01	0.0829	$1268.735 \pm 62.652^{ABCDEFGH}$
682A382	4.450×10^{-5}	$1256.256 \pm 22.521^{BCDE}$
682C674	0.154	$1249.465 \pm 62.645^{ABCDEFGH}$
671565D	0.0352	$1242.412 \pm 38.682^{BCDEFG}$
6828308	0.00441	$1234.639 \pm 24.525^{BCDEF}$
67180AA	0.271	$1232.835 \pm 65.899^{ABCDEFGHIJ}$
68281A9	0.0929	$1232.299 \pm 42.607^{BCDEFGH}$
682B5BF	0.0141	$1229.188 \pm 27.734^{BCDEFG}$
6829D93	0.0962	$1228.819 \pm 40.866^{BCDEFGH}$
6714BF0	0.329	$1228.029 \pm 69.385^{ABCDEFGHIJ}$
6828D10	0.139	$1227.968 \pm 45.383^{BCDEFGH}$
682ED4E	0.151	$1226.218 \pm 45.669^{BCDEFGH}$
682BBA7	0.275	$1226.149 \pm 60.278^{ABCDEFGHJ}$
6829DC7	0.00479	$1224.652 \pm 21.763^{DEFG}$
68284DA	0.00703	$1223.921 \pm 22.703^{DEFG}$
682D387	0.0446	$1218.907 \pm 27.956^{CDEFGH}$
682E50C	0.306	$1217.972 \pm 56.250^{BCDEFGHJ}$
682A374	0.0267	$1215.943 \pm 24.471^{EFGH}$
6829C24	0.0473	$1210.264 \pm 23.908^{EFGH}$

注：同一列上标字母不同表示多重比较结果差异显著($P<0.05$)。

Note: Values with different letters mean significant differences within a rank by contrast test ($P<0.05$).

著水平($P<0.01$)；对每个家系效应参数估计的结果表明，针对 850 日龄体长这一性状，682BABB、6717B7A、6828308、682D387、682B428、682A50A、6829228、68294F0、682B2EC、6829C24、6829D93、6829DC7、682CEC9、682A382、68285F4、68284DA 这 16 个家系的家系效应都达到显著($P<0.05$)。最小二乘均值的多重比较分析结果表明，不同家系 850 日龄体长均值之间确实存在着差异，有些家系间的差异达到了显著水平($P<0.05$)。

表 3 850 日龄体长排名前 25 位虹鳟家系的显著性检验与最小二乘均值的多重比较

Tab.3 Influence of family effect on body length on the 850th day since fertilization and multiple comparison of least squares means of the top 25 ranked families

$n=2157$; $\bar{x} \pm SE$

家系编号 family number	P	最小二乘均值 least square mean
682BABB	3.752×10^{-12}	$42.203 \pm 0.426^{A**}$
6717B7A	2.025×10^{-6}	41.984 ± 0.589^{AB}
6828308	7.479×10^{-11}	41.728 ± 0.380^{ABC}
682D387	2.699×10^{-6}	41.354 ± 0.458^{ABCD}
682B428	1.512×10^{-5}	41.289 ± 0.483^{ABCDE}
67153F9	0.130	$41.142 \pm 1.318^{ABCDEFGHIJKM}$
682A50A	0.0398	$41.069 \pm 0.932^{ABCDEFGHMKM}$
6829228	6.464×10^{-6}	41.054 ± 0.408^{BCDE}
68294F0	9.277×10^{-6}	40.987 ± 0.400^{BCDE}
682B2EC	4.161×10^{-5}	40.849 ± 0.400^{BCDEF}
6829318	0.195	$40.749 \pm 1.232^{ABCDEFGHIJKLMN}$
6829C24	2.609×10^{-4}	$40.656 \pm 0.397^{BCDEFIK}$
6829D93	0.0296	$40.653 \pm 0.684^{ABCDEFGHIKM}$
682C674	0.186	$40.545 \pm 1.051^{ABCDEFGHIJKLM}$
682CEC9	9.586×10^{-4}	$40.453 \pm 0.378^{DEFIKM}$
6829DC7	7.643×10^{-4}	$40.445 \pm 0.367^{DEFIKM}$
682A382	0.00329	$40.312 \pm 0.378^{DEFGIKM}$
68285F4	0.0167	$40.271 \pm 0.454^{DEFGHIKLM}$
6714742	0.402	$40.188 \pm 1.232^{ABCDEFGHIJKLMNO PQ}$
682D787	0.248	$40.110 \pm 0.822^{BCDEFGHIJKLMN}$
682D75A	0.118	$40.092 \pm 0.589^{DEFGHIKLM}$
6716E59	0.328	$40.070 \pm 0.932^{BCDEFGHIJKLMNO}$
682B5BF	0.0646	$40.005 \pm 0.446^{EFGHIKLM}$
682B2BF	0.390	$39.935 \pm 0.900^{BCDEFGHIJKLMNO}$
68284DA	0.0660	$39.886 \pm 0.380^{FGHIKLM}$

注：同一列上标字母不同表示多重比较结果差异显著($P<0.05$)。

Note: Values with different letters mean significant differences within a rank by contrast test($P<0.05$).

2.4 生长性状优秀家系的筛选结果

本课题组先前的研究结果显示，虹鳟的体质量、体长性状变化趋势与遗传趋势基本一致；从遗传力估计值来看，都属于中等遗传力，且在上市时(2~2.5 龄)遗传相关较低。因此本研究涉及的体质量、体长性状均可通过表型选育来获得有效的选择。在本项研究中，首要的育种目标是获得生长速度快的品系。为满足这一育种目标，仅以体质量和体长两个参数作为计算选留家系的依

据。优先入选家系的标准为, 体质量性状和体长性状的家系效应同时达到统计学意义上的显著水平($P<0.05$)。在本研究中, 共计有 682BABB、6717B7A、6828308、682A50A、6829C24、6829DC7、682A382、68284DA 这 8 个家系符合上述标准, 将其作为优先入选家系, 进入组建 G3 世代的储备亲本群体。

3 讨论

中国虹鳟养殖始于 1959 年, 目前中国虹鳟养殖业从无到有已发展到遍布全国, 2008 年总产量已达 1.67 万 t^[2]。尽管中国虹鳟产业已取得了有目共睹的成就, 但尚未对体质量、体长等主要经济性状进行过系统的遗传选育研究, 目前国内主要养殖的虹鳟品系已经产生由遗传混杂引起的生长性能衰退^[4]。导致上述现象产生的一个主要原因是由于水产动物的流动性和隐藏性, 使得不同群体的识别和群体中个体的识别, 成为育种工作的瓶颈问题之一^[20]。本研究采用的电子标记辅助的大规模家系选育技术可以有效地克服这个困难。本课题组以现代数量遗传学为理论基础, 通过电子标记和相应的数量遗传学与生物统计分析方法的有机结合, 建立了高性能的虹鳟遗传选育技术体系, 可以准确地进行群体遗传参数估计与个体遗传性能评定。

本课题组针对虹鳟体质量、体长等生长性状的前期研究结果表明, 本实验群体虹鳟体质量性状的遗传力约为 0.35, 体长的遗传力约为 0.10。从不同评定方法的秩相关来看, 用综合育种值对虹鳟的评定名次排列与单个性状的评定名次基本相同^[8]。本研究显示, 体质量、体长 2 种性状都属于中等遗传力性状。在上市时(2~2.5 龄)其表型趋势与遗传趋势基本一致, 而且体质量和体长性状表型相关及遗传相关均较低, 可以通过表型值对这 2 个性状分别进行选择, 也可以设定权重进行综合选育。于是, 本研究通过广义线性模型, 分别对虹鳟 850 日龄体质量和体长性状的家系效应进行了统计分析。本研究中体质量和体长性状总体家系效应达到了极显著水平($P<0.01$); 对每个家

系效应参数估计的结果表明, 针对体质量这一性状, 6717B7A、682A50A、682C95F、682D75A、682BABB、682A382、671565D、6828308、682B5BF、6829C24、68284DA、682D387、682A374、6829DC7 这 14 个家系的家系效应都达到显著($P<0.05$)。针对体长这一性状, 682BABB、6717B7A、6828308、682D387、682B428、682A50A、6829228、68294F0、682B2EC、6829C24、6829D93、6829DC7、682CEC9、682A382、68285F4、68284DA 这 16 个家系的家系效应都达到显著($P<0.05$)。在不设定经济加权指数的情况下, 本研究选择了 682BABB、6717B7A、6828308、682A50A、6829C24、6829DC7、682A382、68284DA 这 8 个体质量和体长性状家系效应均显著($P<0.05$)的家系作为优先入选家系进入组建 G3 世代的储备亲本群体。

另外, 本课题组前期应用两性状动物模型 DFREML 估计性状间的遗传相关, 应用 SAS 程序的 CORR 模块估计表型相关, 结果表明, 虹鳟 1 龄的生长性状间存在着较强的表型相关和遗传相关, 其中 1 龄的体质量与体长之间的表型和遗传相关最大($r_a=0.92$, $r_p=0.923$); 1.5 龄体质量和体长之间呈中度的正遗传相关, 体质量和体长呈较低的正表型相关; 2 龄体质量与体长呈较低的正表型相关与遗传相关^[21-22]。上述结果与国外其他课题组报道的结果基本一致^[23-26]。所以在本研究群体 1.5 龄时, 依据体质量和体长表型性状对后备亲鱼个体进行了初选, 这导致选留群体的每个家系样本数出现了较大的差异, 其中 15 个家系选留个体数小于 10 个, 1 个家系没有任何个体入选储备亲鱼群体。在各家系子代个体数不均等的情况下, 如果单纯利用家系表型均值作为筛选优秀家系的唯一标准, 会影响最终选择结果的准确性, 因此需要对家系效应进行统计学校正。通过广义线性模型, 采用家系效应在总体模型中的显著性检验结果作为筛选依据, 同时选择经最小二乘法校正的家系均值代替家系算术均值, 可以有效地提高统计效率。笔者注意到, 对体质量和体长两个性状家系效应的显著性检验以及最小二乘均值

分析结果显示,并不是表型最小二乘均值高的家系效应就能够达到显著,这可能与该家系样本量较小或家系内个体间整齐度较差有关。此外还发现,即便已经对表型较差的个体进行了剔除,上述 15 个选留个体数小于 10 个的家系中,体质量和体长性状的家系效应均未同时达到显著性水平($P<0.05$)。以上结果表明,笔者前期对实验群体体质量和体长性状的群体遗传参数估计和个体遗传评定结果是基本准确的,同时也显示我们在此基础上制定的家系选择方案选种的准确性较高。

在实际育种过程中,不同的家系饲养在不同环境当中,可能错误地放大了不同家系之间的遗传差异,从而可能会降低选择的准确性及效率。Refstie 等^[27]将大西洋鲑(*Salmo salar*)家系分开饲养 6 个月,对生长速率总变异方差进行了剖分,发现其中有约 10%是由环境差异引起的。因此,在家系选育过程中,需要确保不同家系养殖环境尽量相同,降低环境误差。本研究在稚鱼期每一个家系放入独立选育单元进行孵化及驯养,虽然尽量保持水源和环境的一致性,但还可能对最终的结果存在影响。如果能够做到虹鳟稚鱼同池饲养,会将环境方差降至尽可能低的水平,从而更好地估算家系效应对表型值的影响。为了实现这一目标,可以采用孙效文等^[28]提出的基于分子标记的家系识别技术。但是即便是在同池饲养,不同家系间的表型差异也可能不完全是由遗传因素造成的。鉴于此,虹鳟优良品系选育应该采用家系选择与家系内选择相结合的策略,从每个家系中选留家系内表型值最优秀的个体进行家系内选育,或作为杂交配组的亲本参与家系间杂交。

综上所述,本研究开展了电子标记辅助的大规模虹鳟家系构建工作,并初步进行了快速生长家系的筛选工作,采用生物统计学方法对不同家系 850 日龄体质量、体长等生长性能进行了比较分析,获得了 682BABB、6717B7A、6828308、682A50A、6829C24、6829DC7、682A382、68284DA 等 8 个生长性能优良的家系。本研究结果可以与本课题组先期开展的基于个体育种值 BLUP 分析的多性状复合育种工作相互结合,相互印证。这

将有助于提高对虹鳟生长性状遗传选择的准确性,同时对其他水生动物数量性状的遗传选育研究也具有积极的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 范兆廷,姜作发,韩英.冷水性鱼类养殖学[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [2] FAO. Aquaculture production: quantities 1950-2008 FISHSTAT Plus-Available [R]. <http://www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.as>, 2010.
- [3] Gjerdem T. Genetic improvement of cold-water fish species [J]. Aquac Res, 2000, 31: 25-33.
- [4] 孙大江,王炳谦.鲑科鱼类及其养殖状况[J].水产学杂志, 2010, 23(2): 56-63.
- [5] Donaldson L R. Selective breeding of salmonid fishes. In Marine Aquaculture [M]. Oregon: Oregon State University Press, 1968: 65-74.
- [6] 铃木亮.鱼类育种的现状与将来[M].水产生物の遗传と育种.东京:恒星社厚生阁,1979.
- [7] 李鸿鸣,孙效文.应用大规模家系选育技术促进辽宁海水养殖业的可持续发展[J].沈阳农业大学学报:社会科学版, 2002, 4(1): 7-10.
- [8] 王炳谦,刘宗岳,高会江,等.应用重复力模型估计虹鳟生长性状的遗传力和育种值[J].水产学报, 2009, 33(2): 177-182.
- [9] 刘永新,刘海金.牙鲆不同家系早期形态性状差异比较[J].东北农业大学学报, 2008, 39(8): 82-87.
- [10] 田永胜,陈松林,徐田军,等.牙鲆不同家系生长性能比较及优良亲本选择[J].水产学报, 2009, 33(6): 901-911.
- [11] 马爱军,王新安,薛宝贵,等.大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)选育家系的构建和培育技术研究[J].海洋与湖沼, 2010, 41(3): 301-306.
- [12] 陈松林,杜民,杨景峰,等.半滑舌鳎家系建立及其生长和抗病性能测定[J].水产学报, 2010, 34(12): 1789-1794.
- [13] 张国范,刘述锡,刘晓,等.海湾扇贝自交家系的建立和自交效应[J].中国水产科学, 2003, 10(6): 441-445.
- [14] 鲁翠云,曹顶臣,孙效文,等.微卫星分子标记辅助镜鲤家系构建[J].中国水产科学, 2008, 15(6): 893-901.
- [15] 罗坤,高焕,于飞,等.通过精液移植构建中国明对虾家系及微卫星分型鉴定父本[J].中国水产科学, 2010, 17(3): 456-462.
- [16] 王昭明,郭吉明,沈希顺.中国养鳟业的发展及存在问题[J].科学养鱼, 2003(5): 3-4.
- [17] 谷伟,贾钟贺,陈伟兴,等.虹鳟系谱档案的建立总结[J].

- 黑龙江水产, 2010(1): 3–7.
- [18] 王炳谦, 谷伟, 高会江, 等. 利用配合力和微卫星标记预测虹鳟品系间的杂交优势[J]. 中国水产科学, 2009, 16(1): 1–8.
- [19] 谷伟, 纪锋, 户国, 等. 电子芯片标记植入对一龄虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 生长与存活的影响[J]. 水产学杂志, 2010, 23(4): 37–40.
- [20] 范兆廷. 水产动物育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [21] 刘宗岳, 高会江, 谷伟, 等. 基于约束最大似然法对虹鳟生长性状遗传参数的估计[J]. 东北农业大学报, 2008, 39(5): 81–84.
- [22] 刘宗岳, 高会江, 白秀娟, 等. 应用不同模型估计虹鳟生长性状的遗传参数[J]. 水产学杂志, 2009, 22(1): 10–14.
- [23] Mckay L R. Genetic parameters of growth in rainbow trout Salmon, as a function of age and maturity [J]. Aquaculture, 1986, 58: 241–254.
- [24] Schaeffer L R. Body traits in rainbow trout: II Estimates of heritability and of phenotypic and genetic correlations [J]. Aquaculture, 1989, 80:25–44.
- [25] Kauser A. Coupling body weight and its composition: a quantitative genetic analysis in rainbow trout [J]. Aquaculture, 2002, 211: 65–79
- [26] Kauser A. Big and beautiful? Quantitative genetic parameters for appearance of large rainbow trout [J]. J Fish Biol, 2003, 62: 610–622.
- [27] Refstie T, Steine T A. Selection experiments with salmon. III. Growth of Atlantic salmon in the freshwater phase [J]. Aquaculture, 1978, 14:221–234.
- [28] 孙效文. 鱼类分子育种学[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.

PIT marker assisted family establishment in rainbow trout and rapid growth families screening

HU Guo, GU Wei, WANG Peng, BAI QingLi, WANG Bingqian

Heilongjiang River Fishery Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China

Abstract: Cold-water fish culture first began in China in 1959 with a shipment of eyed eggs and fry of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from the Democratic People's Republic of Korea. Since then, rainbow trout culture has expanded rapidly into more than 22 provinces. However, further advances depend on accelerating the process of selective breeding and preventing the genetic degeneration of this species. We evaluated the utility of PIT marker assisted selection using a generation one (G1) of a rainbow trout superior strain population which was being selectively bred by the Heilongjiang River Fishery Research Institute (HRFRI) of the Chinese Academy of Fishery Sciences (CAFS). We developed 72 rainbow trout families using PIT marker assisted technology. All pedigreed fry were implanted with PIT markers and cultured in the same pond. Body weight and body length were measured for all the market size rainbow trout individuals 850 days after fertilization to screen for rapid growth families. The family effect was highly significantly for both body weight and body length ($P<0.01$). We obtained 8 rapid-growth families in which the family effects for body weight and body length were both significant ($P<0.05$). The family numbers were 682BABB, 6717B7A, 6828308, 682A50A, 6829C24, 6829DC7, 682A382, and 68284DA. Our results may be compared with our previous work based on BLUP analysis of individual estimated breeding values. Our study provides insight into methods for improving the accuracy of genetic selection for growth traits in rainbow trout, and for genetics and breeding research into quantitative traits in other aquatic animals.

Key words: *Oncorhynchus mykiss*; PIT marker; family; selective breeding; rapid growth

Corresponding author: WANG Bingqian. E-mail: wbqfish@yahoo.com.cn