

大菱鲆子二代家系及亲本耐高温能力比较

关 健 刘梦侠^ξ 刘洪军 于道德 官曙光 郑永允*

(山东省海水养殖研究所, 青岛 266002)

摘 要 通过高温刺激和高温水养殖幼鱼的方法研究了大菱鲆不同子二代(F_2)家系耐高温能力。对2010年建立的36个子二代(F_2)家系50日龄幼鱼,记录使用30℃高温海水进行突变热刺激2h后48h的死亡率;对2009年和2010年所建立的22个和36个大菱鲆 F_2 家系100日龄幼鱼,按照2℃/d速率将养殖温度分别由21.0℃和14.8℃逐步升温至27.0℃和25.0℃,记录不同家系在不同时间的死亡情况。根据热激后存活率表型筛选出高温耐受力强的20个 F_2 家系和11尾 F_1 亲鱼,所筛选出的亲鱼和子代家系有望成为核心育种群体构建的组成部分。

关键词 大菱鲆 家系 亲本 耐高温

中图分类号 Q89;Q958.1;S965.2 文献标识码 A 文章编号 1000-7075(2013)01-0103-08

Comparison of high temperature tolerance of turbot *Scophthalmus maximus* F_2 families and broodstock

GUAN Jian LIU Meng-xia^ξ LIU Hong-jun YU Dao-de

GUAN Shu-guang ZHENG Yong-yun*

(Mariculture Institute of Shandong Province, Qingdao 266002)

ABSTRACT To test the high-temperature tolerance of turbot, young fish of different turbot F_2 families was studied through heat shock and being cultured in high temperature seawater. Experiment A: 50-day post hatching(dph) young fish from F_2 families (year 2010) was heat-shocked acutely in 30℃ seawater for 2 hours, then transfered into normal seawater and the survival rate was recorded for the next 48h. Experiment B: 100dph youngfish from F_2 families (year 2009 and 2010) was reared in high temperature seawater with the water temperature being raised continuously at 2℃/day. The survival rates of young fish in each family were recorded every 12h. Twenty F_2 families and 11 broodstocks were selected by the survival rate phenotype post heat shock and high temperature culture. The 20 F_2 families and 11 broodstocks of turbot with high-temperature tolerance are expected to become part of the core population for breeding.

KEY WORDS *Scophthalmus maximus* Family Parent High-temperature tolerance

山东省农业良种工程“优质抗病速生鱼类良种选育-工厂化适养品种的选育”和国家鲆鲽类产业技术体系建设项目(nycytx-50)共同资助

* 通讯作者。E-mail: zyy19541201@163.com

收稿日期: 2012-06-11; 接受日期: 2012-11-22

作者简介: 关 健(1982-), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事海水经济鱼类繁育、育种及增养殖工程研究。E-mail: guanjian35@gmail.com,

Tel: (0532)82655167

ξ 合作第一作者: 刘梦侠(1963-), 女, 副研究员, 主要从事水产养殖生态研究。E-mail: lmengxia@gmail.com

由于大菱鲆 *Scophthalmus maximus* 对高温耐受能力较差,选育能够在特定时间区间内耐受高温的品系,可提高其在夏季高温期的成活率,提升经济效益。国外对大菱鲆的选育始于20世纪90年代,主要集中于法国和西班牙(Gjerde *et al.* 1997; Haffray *et al.* 2008; Imsland *et al.* 2001),2005年后国内许多单位开展大菱鲆育种研究,在生长(关健等 2011; 王新安等 2011)、遗传参数评估(马爱军等 2008; 张庆文等 2008)、多倍体诱导(孟振等 2010)、转基因(刘婷等 2007)等方面都取得了进展。对许多物种的研究发现,在适应不同环境时生物会产生对温度耐受力的差异(Carline 2001),因此可以温度作为选择压力选育耐高温品系。本研究以大菱鲆耐高温品系培育为目的,运用温度突变刺激与亚致死温度养殖为选择压力,比较了2009、2010年所建立的大菱鲆子二代(F_2)家系50日龄(以下简称dph, days post hatching)和100dph幼鱼的热耐受力的差别,以期筛选出耐高温品系和子一代亲本。

1 材料与方法

1.1 实验材料及准备

实验于2009、2010年在山东烟台百佳水产有限公司进行。实验家系:使用2006~2008年收集的大菱鲆育种基础群体(关健等 2012)所繁育的子一代(F_1)家系中具有耐高温性状的亲鱼,人工授精构建的子二代(F_2)家系。

实验鱼:22个2009年家系100dph幼鱼(全长70~80 mm);36个2010年家系的50dph(全长17~24 mm)和100dph幼鱼(全长75~90 mm),各家系父母本见表1、表2。家系仔、稚、幼鱼的培育方法同雷霖霖(2005),至85dph时以不同的颜色-位点组合的荧光色素橡胶标记幼鱼,以区分不同家系。

实验前驯化:50dph幼鱼:各家系和对照组随机抽取10尾作为一个实验组,预先在10 L水槽中驯化24 h(水温 $17.5 \pm 1.0^\circ\text{C}$,水体溶氧 $\text{DO} \geq 8 \text{ mg/L}$,日换水率80%)。100dph幼鱼:各家系随机抽取10尾,与对照组混养于直径1.8 m、实验水体 0.68 m^3 的锥形底玻璃钢水槽中。

表1 大菱鲆2009年春季育种 F_2 家系父母本信息

Table 1 Broodstock of 2009 spring turbot bred F_2 families

家系 Family	母本 MP	父本 FP	家系 Family	母本 MP	父本 FP	家系 Family	母本 MP	父本 FP
2009-K	2792	3920	2009-D	3366	271A	2009-X	2AA0	4836
2009-V	2792	3E87	2009-M	51AF	271A	2009-L	4D68	4836
2009-U	2C92	3E87	2009-G	53E4	29BB	2009-O	5140	3F9F
2009-E	3F93	3E87	2009-I	4637	29BB	2009-R	2BA1	4493
2009-C	4A65	3E87	2009-N	4637	4D61	2009-A	529E	483F
2009-B	2CA9	3C67	2009-H	4637	3CE0	2009-W	530A	4FC7
2009-S	2CA9	5372	2009-F	53E4	3CE0			
2009-T	2EA6	5372	2009-P	3471	2515	对照 Control		

*注:相同系本的为半同胞家系

Note: The half-sib families have the same parents

1.2 实验设计、操作及观测指标

使用与正式实验相同的方法,通过对同批次、同规格的非家系幼鱼的预实验,确定了50dph幼鱼的热激2h后48h内半致死热激温度为 30°C 。由于2009年和2010年100dph幼鱼驯化水温不同(分别为 21.0°C 和 14.8°C),高温养殖温度上限分别设置为 27.0°C 和 25.0°C 。使用同期培育的同规格普通幼鱼作为对照组。以下各实验组均设3个平行,间隔12h检查实验鱼死亡数、摄食和生活状态。使用MS-801型控温仪的电加热棒和鼓气设施控制水浴温度,保持温度稳定(预设温度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$)。

表 2 大菱鲆 2010 年春季育种家系父母本信息

Table 2 Broodstock of 2010 spring turbot bred F₂ families

家系 Family	母本 MP	父本 FP	家系 Family	母本 MP	父本 FP	家系 Family	母本 MP	父本 FP
2010-4	4266 ^①	3369	2010-27	G8 ^④	46C1	2010-43	48BC ^⑧	4031
2010-5	4266 ^①	2943 ^⑥	2010-28	G8 ^④	47C5	2010-44	54AD	G14 ^⑤
2010-6	4BEF	5058	2010-30	G10 ^⑤	3600	2010-45	2B98	G14 ^⑤
2010-8	5058 ^②	326D	2010-31	G10 ^⑤	49E8	2010-47	4846 ^⑨	2574
2010-9	5058 ^②	2C27	2010-33	29B1 ^⑥	483B ^④	2010-48	4846 ^⑨	G16
2010-10	5058 ^②	3FA9	2010-34	29B1 ^⑥	2247 ^⑤	2010-49	4846 ^⑨	4028
2010-12	2B98 ^③	2247 ^⑤	2010-35	29B1 ^⑥	G13	2010-51	29B1 ^⑥	2943 ^⑥
2010-13	2B98 ^③	3260	2010-37	2860 ^⑦	2CA9 ^①	2010-52	29B1 ^⑥	483B ^④
2010-14	2B98 ^③	37A5 ^⑤	2010-38	2860 ^⑦	4031	2010-53	29B1 ^⑥	32DF
2010-18	G3	483B ^④	2010-39	2860 ^⑦	2E21 ^⑧	2010-54	361C	2943 ^⑥
2010-24	4BEF	G7 ^⑥	2010-40	4266	2E21 ^⑧	2010-对照-A		
2010-25	2860	G7 ^⑥	2010-41	48BC ^⑧	2E21 ^⑧	2010-对照-B		
2010-26	G8 ^④	37A5 ^⑤	2010-42	48BC ^⑧	2CA9 ^①	2010-对照-C		

* 注:亲本上标相同的家系为半同胞家系

Note:The parent of half-sib families has the same superscript

1.2.1 100dph 幼鱼高温养殖实验

实验容器为直径 1.8 m 的锥形底玻璃钢水槽,实验水体 0.68m³。各家系随机抽取 10 尾幼鱼。2009 年:22 个家系及 1 个对照组,共 230 尾;2010 年:26 个家系及 3 个对照组,共 290 尾;每个平行混养于 1 个水槽内。实验鱼转入实验水槽驯化,驯化温度、时间、升温速率和高温水养殖时间见表 3。驯化 48h 后,每日 08:00 和 16:00 饱食策略投喂人工配合饲料。每日 15:30 清理出污物后,更换经预热至实验预设水温的新鲜海水,日换水率 80%。

1.2.2 50dph 幼鱼热刺激实验

水浴装置为 200 L 蓝色 PVC 水槽,海水体积 80 L,使用 10 L 塑料水槽作为热激容器。36 个 2010 年家系和对照组,各家系或对照分别收容于独立的 10L 水槽中,将经驯养的实验鱼进行 2h 的 30.0℃ 热激后,迅速转入水温 17.5℃ 的独立容器中培育。对照组操作相同。

表 3 各组高温耐受实验的程序及相关条件

Table 3 High temperature tolerance test procedures and treatments

家系年份 Year of family	发育时期 Developmental stage(dph)	驯化方法 Methods of domestication	实验水体 Experimental water volume(L)	升温速率 Heating rate (°C/d)	高温温度 High temperature(°C)	热激/高温培育时间 High temperature rearing time(h)	观察时间 Observation time(h)
2009	100	21.0°C×72h	680	1.5	27.0	72	72
2010	50	17.5°C×24h	10.0	温度突变 Sudden change	30.0	2	48
2010	100	14.8°C×72h	680	2.0	25.0	72	72

1.3 统计与分析

研究结果以平行组的平均值±标准差表示,使用 SPSS 11.5 单因素方差分析,P<0.05 为差异显著,P<0.01 差异极显著。使用 Origin 8.0 软件制图。以存活率作为判别家系耐高温能力的依据,以半同胞家系的平均存活率作为判别其亲本耐高温能力的依据。

2 结果

2.1 2009年家系100dph幼鱼的高温实验结果

2009年家系100dph幼鱼高温养殖实验期间水温变动见图1, 27℃高温水培育存活率比较见图3。各家系在27℃中死亡率差异较大: 存活率为0%的家系1个(占家系总数的4.55%), 0.00%~40.00%的家系5个(占22.7%), 多数家系处于40%~60%之间(12个家系, 占54.5%), 存活率>60%的家系4个(占18.2%)。对照家系为50.00%±20.00%。

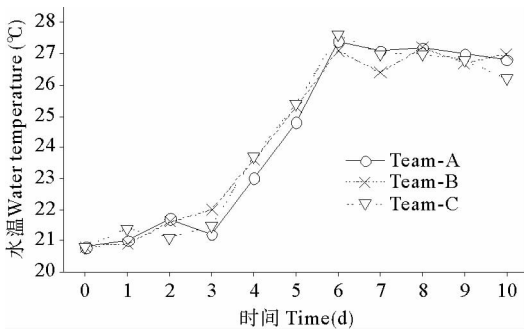


图1 2009年家系100dph幼鱼高温水养殖试验期间水温变动

Fig.1 Temperature regime for the high temperature experiment in 100dph young fish of the 2009 families

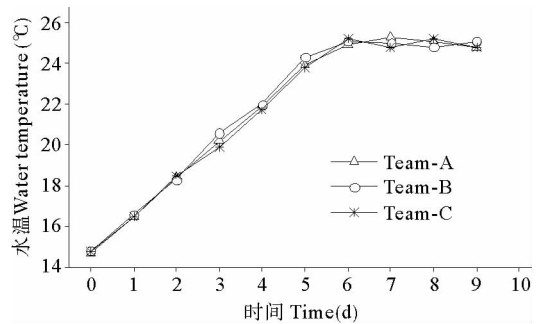


图2 2010年家系100dph幼鱼高温水养殖试验期间水温变动

Fig.2 Temperature regime for the high temperature experiment in 100dph young fish of the 2010 families

母系、父系半同胞家系幼鱼在27℃高温水培育后的存活率见图4、图5。母系半同胞家系4个, 母本分别为2792、2CA9、4637、53E4, 半同胞平均存活率分别为41.67%、50%、41.67%和45.83%, 全部处于40.00%~50.00%范围内, 相互间无显著差异, 故不能筛选出耐高温能力较强的母本亲鱼。父系半同胞家系6个, 父本分别是271A、29BB、3CE0、3E87、4836和5372, 半同胞平均存活率分别为58.33%、37.5%、29.17%、62.49%、50.00%和54.17%, 处于29.17%~62.49%范围内。与母系半同胞家系相比, 父系半

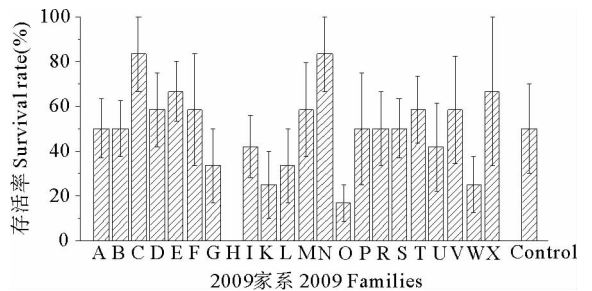


图3 2009年家系27℃高温水培育存活率比较

Fig.3 Survival rates of the 2009 families at 27°C high temperature treatment

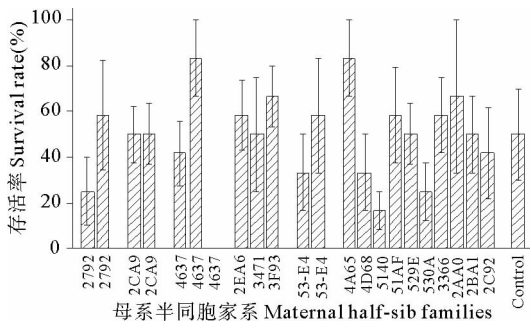


图4 2009母系半同胞家系高温水培育存活率比较

Fig.4 Survival rates of the 2009 maternal half-sib families at high temperature treatment

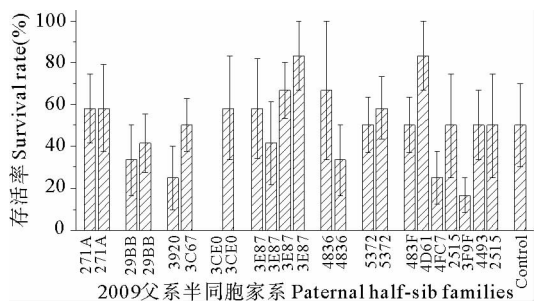


图5 2009父系半同胞家系高温水培育存活率比较

Fig.5 Survival rates of the 2009 paternal half-sib families at high temperature treatment

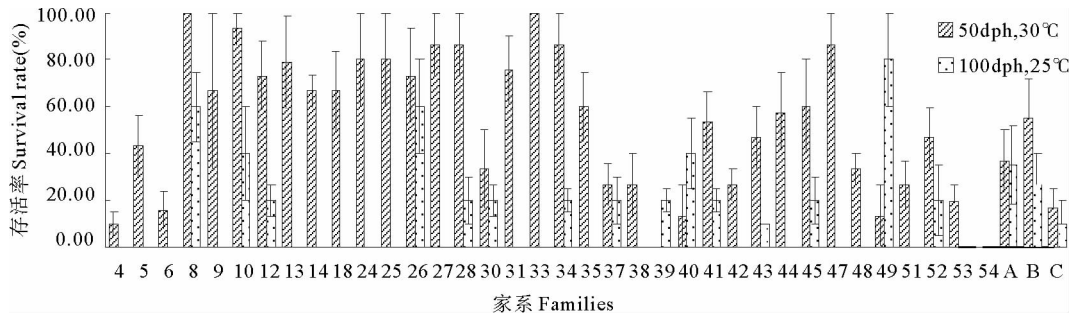


图 6 2010 年家系 50 日龄 30°C 和 100 日龄 25°C 高温水培育存活率比较

Fig. 6 Survival rates of 50dph and 100dph young fish of the 2010 family being reared at 30°C and 25°C, respectively

同胞家系间差异较大,根据子代存活率判断亲鱼 271A、3E87 和 5372 具有耐高温性状。

2.2 2010 年家系 50dph 幼鱼 30°C 热激试验结果

2010 年家系 50 日龄 30°C 热激试验和 100 日龄 25°C 高温水培育试验的存活率见图 6。50dph 30°C 热激试验存活率在 0.00%~100.00%之间都有分布,表现出较大差异和连续的正态分布:存活率为 0.00%的家系两个(占家系总数的 5.56%),10.00%~20.00%的家系 5 个(占 13.89%),20.00%~40.00%的 6 个(占 16.67%),40.00%~60.00%的 7 个(含 60.00%,占 19.44%),60.00%~80.00%的 9 个(不含 60.00%,含 80.00%,占 25.00%),80.00%~99.99%的 5 个(不含 80.00%,占 13.89%),存活率 100.00%的家系两个(占 5.56%)。

母系、父系半同胞家系 50dph 幼鱼的 30°C 热激存活率见图 7、图 8。母系半同胞家系 10 个,母本分别为 2860、4266、4846、5058、29B1、2B98、48BC、4BEF、G10 和 G8,半同胞平均存活率分别为 33.34%、22.22%、44.44%、86.67%、56.53%、69.72%、42.22%、47.78%、54.45%和 82.22%,对照平均存活率为 36.10%,差异较大。其中有 5 个半同胞家系处于 40.00%~60.00%区间,占母本半同胞家系的 50%,基本呈连续的正态分布。根据子代存活率判断亲鱼 5058、2B98 和 G8 具耐高温性状。父系半同胞家系 8 个,父本分别为 2247、2943、2CA9、2E21、37A5、483B、G14 和 G7,半同胞平均存活率分别为 80.00%、23.34%、26.67%、22.22%、70.00%、71.11%、58.89%和 80.00%,对照的平均存活率为 36.10%。父系半同胞家系平均存活率呈现两极分化,3 个半同胞家系 25%左右,4 个半同胞家系处于 70%~80%。根据子代存活率判断亲鱼 2247、G7、37A5 和 483B 可能具有耐高温性状。

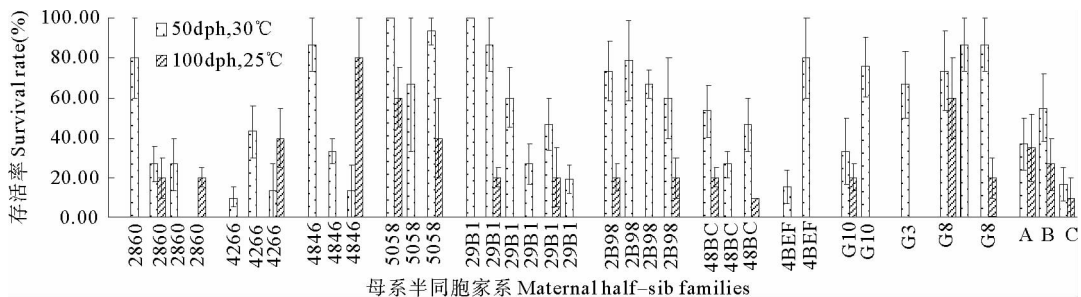


图 7 2010 年母系半同胞家系 50 日龄 30°C 和 100 日龄 25°C 高温水培育存活率比较

Fig. 7 Survival rates of 50dph and 100dph young fish of the 2010 maternal families being reared at 30°C and 25°C, respectively

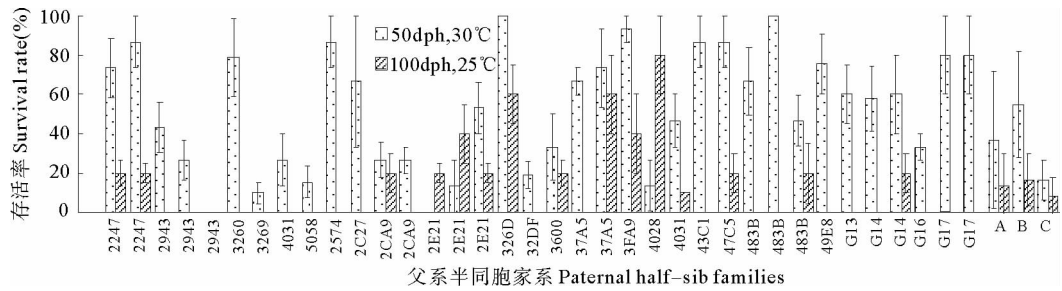


图8 2010年父系半同胞家系50日龄30℃和100日龄25℃高温水培育存活率比较

Fig. 8 Survival rates of 50dph and 100dph young fish of the 2010 paternal families being reared at 30°C and 25°C, respectively

表4 根据表型筛选出的可能具有耐高温性状的F₂家系

Table 4 F₂ families with possible high temperature tolerance obtained by phenotypic screening

家系年份 Year of family	家系数量 Number of family	家系编号 Number of family	发育时期 Developmental stage(dph)	存活率(%) Survival rate
2009	4	C、N、E、X	100	83.3、83.3、66.67、66.67
2010	13	12、26、31、13、 25、24、28、34、 27、47、10、8、33	50	73.33、73.33、75.56、78.89、80.00、80.00、86.67、 86.67、86.67、86.67、93.34、100.00、100.00
2010	3	26、8、49	100	60.00、60.00、80.00
合计 Total	20			

*注:亲鱼编号有下划线的为重复亲鱼

Note: Repeated parents have underlined number

表5 根据子代表型筛选出的可能具有耐高温性状的F₁亲鱼

Table 5 Broodstock with possible high temperature tolerance obtained by phenotypic screening

家系年份 Year of family	发育时期 Developmental stage(dph)	半同胞家系类型 Maternal/paternal half-sib family	亲鱼标记编号 Code of broodstock(%)	半同胞家系存活率 Survival rate of half-sib family
2009	100	母系 M	—	
2009	100	父系 P	271A、3E87、5372	62.49、62.49、54.17
2010	50	母系 M	5058、2B98、G8	86.67、69.72、82.22
2010	50	父系 P	2247、G7、37A5、483B	80.00、80.00、70.00、71.11
2010	100	母系 M	4846、5058、G8	40.00、33.33、40.00
2010	100	父系 P	37A5	30.00
合计 Total			11	

*注:亲鱼编号有下划线的为重复亲鱼

Note: Repeated parents have underlined number

2.3 2010年家系100dph幼鱼25℃高温实验结果

2010年家系100dph幼鱼高温水养殖试验期间水温变动情况见图2,家系100日龄25℃高温水培育试验的存活率见图6。100dph 25℃高温水培育试验的存活率在0.00%~80.00%之间,差异范围较大。其中13个家系全部死亡,1个家系存活率10.00%,9个家系存活率20.00%、40.00%、60.00%的各两个家系,80.00%家系1个。多数家系的存活率较低。

母系、父系半同胞家系的100dph幼鱼的25℃热激存活率见图7、图8。母系半同胞家系共10个,母本分

别为 2860、4266、4846、5058、29B1、2B98、48BC、4BEF、G10 和 G8,半同胞平均存活率分别为 10.00%、13.33%、40.00%、33.33%、8.00%、13.33%、10.00%、0%、10.00%和 40.00%,存活率总体较低。根据子代存活率判断亲鱼 4846、5058 和 G8 具有耐高温性状。父系半同胞家系共 8 个,父本分别为 2247、2943、2CA9、2E21、37A5、483B、G14 和 G7,半同胞平均存活率分别为 20.00%、0.00%、26.67%、22.22%、30.00%、6.67%、10.00%和 0.00%,存活率总体较低。根据子代存活率判断亲鱼 37A5 可能具有耐高温性状。

2.4 筛选出的可能具有耐高温性状的 F_1 亲本及 F_2 家系

根据 2.1~2.3 的高温后存活率表型,筛选出可能具有耐高温性状的 F_2 家系 20 个,根据子代半同胞家系表型筛选出可能具有耐高温性状的 F_1 亲鱼 11 尾,结果分别见表 4 和表 5。

3 讨论

3.1 水产动物耐温性状的培育及机制探讨

过去主要以培育和筛选低温耐受品系为目的研究水产动物温度耐受性(楼允东 1999),对耐低温鲤 *Cyprinus carpio* 的育种开展较早(刘明华等 1994;梁利群等 2006;潘 贤等 2008),在尼罗罗非鱼 *Oreochromis niloticus*(李晨虹等 1996)、大黄鱼 *Pseudosciaena crocea*(李凌云等 2010)上的研究也获得相当的进展。2005 年以后,国内水产动物耐温品系的选育研究稳步增加(池信才等 2006;刘广斌 2008;刘宝锁等 2011;田永胜等 2011),这一方面表明对耐温性状的关注度上升,另一方面也说明产业对于耐温品系的迫切需求。就大菱鲆而言,养殖耐高温品系可提升高温期的成活率,扩大适养地域范围,使用自然海水部分替代深井海水,进而节能降耗,降低养殖成本,因此具有重要的经济价值和生态意义。

本研究中家系的亲本属耐高温能力较强的子一代,其子代家系中的耐高温能力差异较大,也说明耐温性状的遗传并不稳定。刘宝锁等(2011)使用两种动物模型计算大菱鲆耐高温性状遗传力分别为 0.026 ± 0.034 和 0.026 ± 0.053 ,与罗非鱼耐低温性状遗传力相近(Behrends *et al.* 1990),属于低遗传力,而对低遗传力物种进行选育的难度远大于高遗传力物种。同常规数量性状相似,动物当中有许多离散性状受多基因的控制,并被环境因子修饰(殷宗俊等 2006)。目前对耐温性状的遗传学机制研究较少,有学者认为其属于数量性状范畴和微效多基因机制(吴常信 1993;池信才等 2007),但目前尚不能定论,在今后仍需不断进行探索。

3.2 生活、驯化温度及个体规格对生物热耐受性的影响

生物某一时期极性致死温度的高低,同其在之前的生活温度高低直接相关,人工驯化或气候驯化还可在一定程度上改变生物体的耐受性,即气候适应(李永材等 1986;孙儒泳 2001)。大菱鲆属低温性鱼类,最适生长水温为 $14 \sim 17^\circ\text{C}$,对高温适应能力差(申雪艳等 2005)。据养殖业者的信息,对比引种初期,目前我国大菱鲆养殖群体的耐温上限已获得了一定提高,其原因可能是长期的环境选择和气候适应。气候适应是育种研究的干扰因素之一。在面临相同环境时,由于前期生活环境的差异,会导致基因型相同的个体表型迥异。本研究也观察到气候适应现象:2009、2010 年家系 100dph 幼鱼实验前培育温度分别为 21°C 和 14.8°C ,而预实验中半致死温度差异较大,分别为 27°C 和 25°C 。刘宝锁等(2011)发现,大菱鲆个体耐高温性状与全重间呈表型负逆相关性(-1.00),表明在研究耐高温性状时,预先建立“个体规格-高温耐受”曲线,对表型进行校正是非常必要的。因此比较不同个体规格、养殖区、养殖水温、养殖模式及不同年份家系的耐高温性状,一定要慎重考虑结果的准确性。综上,本研究开展的热刺激突变试验和高温养殖耐受实验周期较短,据实验结果筛选的家系和亲鱼可能具有较强的耐高温性状,虽然该性状的确定或者固定还需要今后长期的养殖实验检验,但可为耐高温品系的选育提供理论和技术依据。

参 考 文 献

(5):499-504

- 王新安, 马爱军, 雷霖霖, 杨志, 曲江波, 黄智慧, 薛宝贵. 2011. 大菱鲆不同家系生长性能的比较. 海洋科学, 35(4):1-8
- 卢钟磊, 池信才, 王义权, 沈月毛, 郑忠辉, 宋思扬. 2007. 褐牙鲆耐热性状相关的微卫星分子标记筛选. 厦门大学学报(自然科学版), 46(3): 396-402
- 申雪艳, 孔杰, 宫庆礼, 雷霖霖. 2005. 大菱鲆种质资源研究与开发. 海洋水产研究, 26(6): 94-100
- 田永胜, 汪娣, 徐营, 陈松林. 2011. 温度对半滑舌鳎家系生长及性别的影响. 水产学报, 35(2):176-182
- 刘广斌. 2008. 刺参 *Apostichopus japonicus* 耐高温品系选育的基础研究. 见:中国科学院研究生院博士研究生学位论文
- 刘明华, 沈俊宝, 张铁齐. 1994. 选育中的高寒鲤. 中国水产科学, 1(1):10-19
- 刘宝锁, 张天时, 孔杰, 王清印, 栾生, 曹宝祥. 2011. 大菱鲆生长和耐高温性状的遗传参数估计. 水产学报, 35(11):1 601-1 606
- 刘婷, 刘庆华, 谭训刚, 张培军, 徐永立. 2007. 大菱鲆两种转基因方法的比较研究. 海洋科学, 31(11):9-13
- 关健, 刘洪军, 官曙光, 雷霖霖, 陈志信, 高翔, 郑永允. 2012. 大菱鲆引进亲鱼与国内累代养殖亲鱼群体的形态特征比较. 渔业科学进展, 33(3): 48-53
- 关健, 郑永允, 刘洪军, 官曙光, 张全启, 雷霖霖. 2011. 大菱鲆子二代家系白化与正常幼鱼生长及形态学差异的初步研究. 中国水产科学, 18(6): 1 286-1 292
- 池信才, 王军, 宋思扬, 苏永全. 2007. 耐温牙鲆分子标记辅助选育研究. 厦门大学学报(自然科学版), 46(5):693-696
- 池信才. 2006. 耐温牙鲆的分子标记及人工选育的研究. 见:厦门大学博士研究生学位论文
- 孙儒泳. 2001. 动物生态学原理(第三版). 北京:北京师范大学出版社
- 李宁. 2002. 动物遗传学. 北京:中国农业出版社
- 李永材, 黄溢明. 1986. 比较生理学. 北京:高等教育出版社
- 李祥云, 吴玉珍, 冀德伟, 吴海庆, 陈炯, 史雨红, 罗海忠, 柳敏海, 傅荣兵. 2010. 低温选择大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)的肝脏蛋白质组双向电泳分析. 海洋与湖沼, 41(3): 348-351
- 李晨虹, 李思发. 1996. 不同品系尼罗罗非鱼致死低温的研究. 水产科技情报, 23(5): 195-198
- 吴常信. 1993. 为创建一门新的边缘学科:《分子数量遗传学》而努力. 中国畜牧杂志, 29(4): 54-55
- 张庆文, 孔杰, 栾生, 于飞, 罗坤, 张天时. 2008. 大菱鲆 25 日龄 3 个经济性状的遗传参数评估. 海洋水产研究, 29(3):53-56
- 陈全震, 曾江宁, 高爱根, 廖一波, 杨关铭. 2004. 鱼类热忍耐温度研究进展. 水产学报, 28(5): 562-567
- 范武江, 李思发, 孟庆辉, 刘于信. 2012. 4 种遗传型罗非鱼的耐盐慢性驯化表现. 中国水产科学, 19(3): 430-435
- 孟振, 雷霖霖, 刘新富, 张和森. 2010. 不同倍性大菱鲆胚胎发育的比较研究. 中国海洋大学学报, 40(7):36-42
- 殷宗俊, 张勤. 2006. 多基因离散性状 QTL 连锁分析方法. 遗传, 28(5):578-582
- 常玉梅, 曹鼎臣, 孙效文, 梁利群. 2006. 低温胁迫对鲤血清生化指标的影响. 水产学杂志, 19(2): 71-75
- 梁利群, 李绍戊, 常玉梅, 高俊生, 孙效文, 雷清泉. 2006. 抑制消减杂交技术在鲤鱼抗寒研究中的应用. 中国水产科学, 13(2): 194-199
- 楼允东. 1999. 鱼类育种学. 北京:中国农业出版社
- 雷霖霖. 2005. 海水鱼类养殖理论与技术. 北京:中国农业出版社
- 潘贤, 梁利群, 雷清泉. 2008. 筛选与鲤鱼抗寒性状相关的微卫星分子标记. 哈尔滨工业大学学报, 40(6):915-918
- Behrends LL, Kingsley JB, Bulls MJ. 1990. Cold tolerance in maternal mouthbrooding tilapia: phenotypic variation among species and hybrids. Aquaculture 85: 271-280
- Gjerde B, Røer JE, Stoss J, Refstie T. 1997. Heritability for body weight in farmed turbot. Aqua Int 5:175-178
- Haffray P, Martinez P. 2008. Review on breeding and reproduction of European aquaculture species-Turbot (*Scophthalmus maximus*). Aqua Breeding 1-12
- Kocovsky PM, Carline R. 2001. Influence of extreme temperatures on consumption and condition of walleyes in pymatuning sanctuary, Pennsylvania. North American Journal of Fisheries Management 21(1):198-207
- Imsland AK, Foss A, Stefansson SO. 2001. Variation in food intake, food conversion efficiency and growth of juvenile turbot from different geographic strains. Journal of Fish Biology 59:449-454