

大菱鲆生长和耐高温性状的遗传参数估计

刘宝锁^{1,2}, 张天时¹, 孔杰¹, 王清印^{1*}, 栾生¹, 曹宝祥¹

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要:对来自40个家系的753尾大菱鲆个体进行耐高温实验,测定其生长和耐高温性状。基于是否考虑全同胞家系效应,建立了两种动物模型,用于估算大菱鲆生长和耐高温性状的遗传参数。利用WOMBAT程序采用平均信息约束极大似然法估计各模型中性状的方差组分,用似然比检验法进行不同模型的差异检验。方差组分分析结果显示,估计体质量遗传参数时,采用模型I效果较好,相应遗传力为(0.22±0.09);估计肥满度时,两模型间差异不显著,其遗传力范围为(0.21±0.18)~(0.39±0.11);估计耐热性时,采用模型I比较理想,遗传力为(0.026±0.034)。表型和遗传相关分析结果表明,体质量与肥满度、耐热性的表型相关系数分别为0.13和0.04,肥满度与耐热性的表型相关系数为0.13;体质量与肥满度、耐热性遗传相关系数分别为0.01和-1.00,肥满度与耐热性的遗传相关系数为0.05。研究结果表明,没有考虑全同胞家系效应的模型I是估计大菱鲆生长和耐高温性状遗传参数的较好模型。

关键词:大菱鲆;生长;耐高温;遗传参数;动物模型

中图分类号:Q346;S917

文献标志码:A

大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)主要分布在大西洋东北海区,是欧洲沿海的特有名贵鱼类,具有生长快、肉味鲜美、经济价值高等优点^[1]。大菱鲆作为外来鱼种,1992年引进中国,由于亲鱼来源相对单一,加之累代养殖和近亲交配,已经出现种质退化,主要表现在孵化率低、出苗率低、生长速度减慢和抗逆性变差等性状退化现象^[2]。此外,大菱鲆属于冷水性种类,其最适生长温度为18~20℃,高于26℃可能引起鱼体的高温应激反应,导致成活率、生长速度和抗病力下降,进而易受病害感染^[3]。我国北方夏季自然海水温度往往会超过26℃,这就需要加入深井海水进行降温,而大量抽水则造成地下水位大幅度下降和水量不足^[4]。因此,很有必要对大菱鲆进行遗传改良,选育出具有生长快、耐高温的优良新品种。

有关鱼类耐热性的研究国外已开展多年。PERRY等^[5]估计了虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)

耐高温性状的遗传参数,结果显示耐高温性状的遗传力为0.407~0.477,表明对此性状进行遗传改良具有一定的潜力。在大菱鲆耐热性研究方面,国内学者进行了有关温度对大菱鲆生长、存活和体内蛋白酶活性影响的研究^[6-7]。曾庆民等^[8]在大菱鲆南方移养技术的研究中,发现大菱鲆对高水温有相当的耐受能力。许可^[9]进行了大菱鲆耐高温性状微卫星标记筛选的研究,但有关大菱鲆耐高温性状的遗传力、与其它性状的遗传相关尚未见报道。本研究利用大菱鲆选育家系进行耐高温实验,以耐热性(upper thermal tolerance, UTT)作为评定耐高温性状的指标,同时测定相应的生长指标,运用动物模型和平均信息约束极大似然法(average information restricted maximum likelihood, AIREML)估计生长和耐高温性状的遗传方差组分,并对两种动物模型的评估结果进行比较,以期获得适合大菱鲆生长和耐高温性状遗

收稿日期:2011-06-22 修回日期:2011-09-03

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2006AA04A04);青岛市科技发展指导计划项目(KZJ-38);国家自然科学基金面上项目(308719192)

通讯作者:王清印, E-mail: qywang@public.qd.sd.cn

传参数的估计模型,为提高大菱鲂育种效率提供遗传参数和评估方法。

1 材料与方法

1.1 实验材料

以山东海阳黄海水产有限公司大菱鲂选育家系为材料,亲鱼为2006—2007年建立的G0代家系个体。2010年共建立了56个G1代家系,从中筛选40个家系,共计753尾个体进行耐高温实验。

1.2 实验方法

当鱼体体质量为(7.3±3.6)g时,对各家系进行荧光标记,标记完成后进行耐高温实验。每个家系随机抽取14~28尾,放入两个水池中,暂养3d后开始实验。实验前家系的养殖温度为19~20℃,实验初始温度为20℃,按照26℃之前每天升温2℃,26℃之后每天升温1℃的方式进行升温,升至29℃后停止,并维持此温度直至实验结束。在实验中,每小时测温一次,同时扰动池子,捞取已死和濒死的鱼,以扰动池子鱼没有任何反应为死亡标准。及时捞出死亡个体,记录个体信息,测量体长和体质量。当鱼体全部死亡时,停止耐高温实验。

1.3 统计分析

性状评定指标 采用耐热性(UTT)为耐高温性状指标。计算公式为

$$UTT = \sum_{i=1}^k (T_i - T_0)$$

式中, i 为小时数, T_i 为在第*i*小时的温度, T_0 为20℃,实验初始温度, k 为鱼体存活的小时数^[5]。

生长性状采用体质量(BW)和肥满度(K)两个指标^[5,10]。计算公式为

$$K = \frac{100 \times BW}{BL^3}$$

式中,BW为体质量(g),BL为体长(cm)。

数据分析处理 运用Excel 2007计算每尾鱼的肥满度和耐热性数值,利用WOMBAT软件^[11]采用动物模型和AIREML算法估计生长和耐高温性状的遗传方差组分。模型中采用日龄作为协变量进行数据校正,其方法为先利用SAS中PROC GLM程序判断日龄对性状是否存在显著影响,再通过回归分析来决定在估计遗传方差组分时日龄协变量采用的形式。

采用两种动物模型进行体质量、肥满度和耐

热性的遗传方差组分估计,分别为

$$\text{模型 I: } Y_{ij} = u + t_i + a_j + bd_{ij} + e_{ij}$$

$$\text{模型 II: } Y_{ijk} = u + t_i + a_j + bd_{ijk} + f_k + e_{ijk}$$

式中, Y_{ij} 、 Y_{ijk} 为鱼体的BW、 K_f 或UTT; u 为总体均值; t_i 为水池效应; b 为回归系数; d_{ij} 、 d_{ijk} 为日龄协变量; f_k 为全同胞家系效应; a_j 为第*j*个体育种值; e_{ij} 、 e_{ijk} 为随机残差效应。

性状遗传力(h^2)和共同环境系数(C^2)的计算公式分别为

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2}; \quad C^2 = \frac{\sigma_F^2}{\sigma_p^2}$$

式中, σ_p^2 为表型方差; σ_a^2 为加性遗传方差; σ_F^2 为全同胞家系方差。

运用两性状动物模型估计生长和耐高温性状的表型和遗传相关,模型包括了个体育种值、水池效应和日龄协变量(模型I)。

不同动物模型间的比较 用似然比检验对不同动物模型进行比较。检验统计量为

$$LR = -2 \ln \frac{L_{\max} | \text{模型 I}}{L_{\max} | \text{模型 II}}$$

式中,LR为似然比值, $L_{\max} | \text{模型 I}$ 和 $L_{\max} | \text{模型 II}$ 分别是两个不同模型下的最大似然函数值,模型I是模型II的子模型。LR值服从卡方分布,自由度为模型II中估计的参数个数与模型I中估计的参数个数之差^[12-13]。

2 结果

2.1 生长和耐高温性状的描述性统计量

大菱鲂生长和耐高温性状数据统计值见表1。体质量范围为4.20~77.10g,具有较大的变异系数($CV=0.46$)。肥满度的均值为3.35,标准差为0.38,变异系数较小($CV=0.11$)。耐高温性状指标—耐热性存在较大的变异系数,表明大菱鲂个体间的耐高温能力有较大差异,进行耐高温性状的遗传改良有较大的潜力。

2.2 在不同模型下性状的方差组分、遗传力和共同环境系数

生长和耐高温性状的遗传参数在不同动物模型下的数值见表2。从表2可看出,在估计体质量时,模型I没有考虑全同胞家系效应,估计的加性遗传方差组分较大(22.91),遗传力为(0.22±0.09);模型II考虑全同胞家系效应后,加性遗传方差组分降低,遗传力为(0.07±0.11)。在估计

肥满度方差组分的两种动物模型中,模型 I 和模型 II 的遗传力值分别为(0.39 ± 0.11)和(0.21 ± 0.18)。进行耐高温性状遗传参数估计时,考虑与不考虑全同胞家系效应对遗传力影响不大,模型 I 和模型 II 的遗传力分别为(0.026 ± 0.034)

和(0.026 ± 0.053),其遗传力估计值的标准误差均较大,说明耐热性的遗传力估计值需要进一步确定。模型 II 的共同环境系数为 0,表明共同环境效应较小。

表 1 生长和耐高温性状的描述性统计量

Tab. 1 Description statistics of growth and upper thermal tolerance traits

性状 traits	均值 mean	标准差 SD	变异系数 CV	最小值 min	最大值 max
体质量/g body weight	30.09	13.73	0.46	4.20	77.10
肥满度/(g/cm ³) relative fatness	3.35	0.38	0.11	2.01	5.04
耐热性/(°C/h) upper thermal tolerance	1 006.69	298.34	0.30	142.80	1 546.60

表 2 三个性状不同动物模型估计的方差组分

Tab. 2 Variance components estimation of three traits by different animal models

性状 traits	模型 model	全同胞家系效应 full-sib family effect	方差组分 variances components				C ²	h ²
			σ_p^2	σ_a^2	σ_e^2	σ_F^2		
体质量/g body weight	I		102.35	22.91	79.43		0.22 ± 0.09	
	II	√	100.35	6.65	86.79	6.91	0.07 ± 0.05	
肥满度/(g/cm ³) relative fatness	I		0.15	0.06	0.09		0.39 ± 0.11	
	II	√	0.14	0.03	0.10	0.01	0.07 ± 0.07	
耐热性/(°C/h) upper thermal tolerance	I		87 927	2 308	85 620		0.026 ± 0.034	
	II	√	87 931	2 324	85 607	3 × 10 ⁻¹	0.00	

注: σ_p^2 为表型方差, σ_a^2 为加性遗传方差, σ_e^2 为残差, σ_F^2 为全同胞家系方差, C^2 为共同环境系数, h^2 为遗传力。

Notes: σ_p^2 - phenotype variance, σ_a^2 - additive genetic variance, σ_e^2 - residual variance, σ_F^2 - full-sib variance, C^2 - common environment effect, h^2 - heritability.

3 个性状的不同模型间似然比值结果见表 3。估计生长和耐高温性状遗传参数的模型 I 与模型 II 间的似然比值均不存在显著差异 ($P > 0.05$)。

表 3 三个性状不同模型的似然比值

Tab. 3 Different model comparisons in likelihood rates of three traits

性状 traits	似然比值 LR
体质量/g body weight	2.7
肥满度/(g/cm ³) relative fatness	1.12
耐热性/(°C/h) upper thermal tolerance	1.09

注: * 表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Notes: * means significantly different ($P < 0.05$).

2.3 生长和耐高温性状的相关性分析

生长和耐高温性状间表型相关和遗传相关的分析结果见表 4。由表 4 可知,体质量与肥满度的表型相关和遗传相关均呈正相关,其值分别为 0.13 和 0.01。体质量与耐热性的表型相关为 0.04,但二者的遗传相关为负相关 (-1.00)。肥满度与耐热性的表型相关和遗传相关均为正相关,其值分别为 0.13 和 0.05。

表 4 三个性状间的遗传相关和表型相关

Tab. 4 Genetic correlations and phenotypic correlations of three traits

性状 traits	体质量 body weight	肥满度 relative fatness	耐热性 upper thermal tolerance
体质量/g body weight		0.01	-1.00
肥满度/(g/cm ³) relative fatness	0.13		0.05
耐热性/(°C/h) upper thermal tolerance	0.04	0.13	

注: 对角线右侧为遗传相关, 对角线左侧为表型相关。

Notes: Phenotypic correlations locate right diagonal and genetic correlations locate left diagonal.

3 讨论

当前研究鱼类温度耐受性主要有两种基本方法: (1) 将实验鱼从适应的温度突然转移入实验温度, 并记录直到死亡所经历的时间; (2) 以一个升温率标准 (如 1 °C/h 或 1 °C/d) 加温, 直至实验鱼出现死亡^[14]。国内学者大多采用以升温方式

来研究鱼类的温度耐受性。卢钟磊等^[15]选择牙鲈耐高温和不耐高温个体时采用的升温方式为逐渐升温,即从 22 °C 起每天升温 2 °C,一直到 32 °C;池信才等^[16]进行牙鲈仔鱼耐高温实验时,采取由 25 °C 每天升温 1 °C,达到 32 °C 后停止升温的方式;严福升^[14]以急性升温(约 1.6 °C/h)和慢性升温(以 1.6 °C/h 的速率连续升温 2 °C,并稳定 2 d)两种不同升温方式研究不同牙鲈家系的温度耐受性;许可^[9]进行大菱鲈耐高温实验时,采用 12 h 内由 13.5 °C 升至 26 °C,之后每 12 小时升温 1 °C,直至 29 °C,选择耐高温和不耐高温个体,并以此为实验材料,筛选与耐高温相关的分子标记。由于第一种升温方法的温度变化是瞬时性的,实验鱼无法做出及时调节,温度耐受性指标无法客观地反应出鱼类本身的温度耐受性,并且温度的突然变化在鱼类实践过程中发生较少,以此方法得到的温度耐受性指标缺乏实际意义^[14]。因此,本研究采用第二种方法,即以 20 °C 起每天升温 2 °C,升至 26 °C 后每天升温 1 °C,直至 29 °C。

在估计大菱鲈体质量遗传力时,本研究采用两种模型估计其遗传方差组分。实验中各家系的孵化时间差异较大,故采用日龄作协变量进行校正,以避免个体遗传方差的过高估计。全同胞效应可认为是环境效应、非加性遗传效应和母本效应的混合效应。本实验中模型 II 的共同环境系数为 0.07,且两种模型间的 LRT 值差异不显著,故认为是否考虑全同胞效应对模型影响不大。体质量遗传力在两种模型间的差异较大,可能是加性遗传效应和全同胞效应混合在一起无法有效剖分的结果^[12,17]。加入全同胞组效应,遗传力估计值偏低;不包含全同胞组效应,遗传力估计值偏高。本研究 LRT 检验支持后一种模型,即在模型中不包含全同胞组效应。另外,本研究估计体重遗传力的数据仅为 G0 和 G1 两代数据,并且仅有部分家系为母系或父系半同胞组,系谱深度不够,选育世代少,家系间的亲缘关系也不够密切,这些因素决定了仅利用现有数据无法准确剖分出全同胞组效应。随着选育世代的不断增加,系谱深度不断变大,家系间的亲缘关系会越来越密切,在此基础上利用 REML 法估计得到的遗传力和共同环境效应会更加准确。马爱军等^[13]利用大菱鲈 G0 代数据进行了不同日龄体质量遗传力的不同模型间

比较,发现在估计 9 月龄、12 月龄和 15 月龄的体质量遗传力时,考虑与未考虑全同胞效应的不同模型间 LRT 值未达到显著水平; MARTINEZ 等^[12]在估计鲑鱼 130 d 体质量遗传力时,也发现加入与未加入全同胞效应的动物模型间差异不显著。针对本实验数据,认为模型 I 是估算大菱鲈体质量遗传力的较好模型,基于此模型估计的遗传参数、方差组分和育种值是准确的,估算的遗传力为 0.22,属于中度遗传力,本文结果与牙鲈^[18-19]、虹鳟^[5]和大西洋鲑(*Salmo salar*)^[12,20]等鱼类体质量遗传力结果相似。本研究采用的另一生长性状指标为肥满度,估计的遗传力范围为 0.21~0.39,且各模型间差异不显著($P > 0.05$),两种模型均可作为估计大菱鲈肥满度遗传方差组分的合适模型。本研究与对虹鳟的研究结果^[5,21]相一致,即肥满度为高度遗传力。

在估计大菱鲈耐高温性状遗传参数时,本研究采取了两种不同的动物模型。通过模型间似然比检验可知,考虑与未考虑全同胞家系效应的模型间似然值比较差异不显著($P > 0.05$),且模型 II 中的共同环境系数为零,故认为模型 I 可作为评估耐温性遗传参数的较好动物模型,估计得到的耐高温性状遗传力为 0.026。在其它鱼类耐温研究领域, PERRY 等^[5]用两个虹鳟品系交配的 F2 代为实验材料,用经 1 h 由 10 °C 升至 25.7 °C 后并维持此温度,记录每分钟死亡的个体数,估计耐高温性状遗传力。耐高温性状指标—耐热性在三个动物模型下的遗传力分别为 0.407、0.411 和 0.477,表明虹鳟耐高温性状为高遗传力。而 CHARO-KARISA 等^[22]以 4 种不同地域的尼罗罗非鱼进行杂交后代为材料,采用经 48 h 由 20 °C 降至 16 °C,之后每天 2.5 °C 降温至 11 °C,最后以每天 1 °C 继续降温直至鱼体全部死亡的耐温实验,估计的 CDH(与耐热性计算公式相一致)遗传力为(0.08 ± 0.19),经体质量校正后 CDH 遗传力为(0.05 ± 0.11),这与 BEHRENDIS 等^[23]研究得到罗非鱼耐低温性状的结论相一致。本研究得到的大菱鲈耐高温性状遗传力与罗非鱼耐低温性状遗传力相近,均为低遗传力,且二者采用的温度变化方式也较为相近。但鱼类温度耐受性指标的遗传力是否与温度变化方式有关,尚需要进一步的研究。

在性状间相关性研究方面,结果表明大菱鲈

生长指标(体质量和肥满度)间的表型相关和遗传相关均为正相关关系,这与其它大菱鲆生长指标间相关的研究结果相一致^[24-25]。耐热性与体质量间呈表型正相关,但遗传相关为负相关(其值为-1.00),这和虹鳟体质量、耐热性的表型与遗传相关关系相一致^[5]。性状间的表型相关系数与遗传相关系数差别较大,这与各性状的遗传力及估计的准确度有关。遗传力越高,估计准确度越高,表型相关系数与遗传相关系数差别越小,反之差别则越大^[26]。

本研究利用动物模型和 AIREML 法估计了大菱鲆体质量、肥满度和耐热性的遗传力及遗传相关,表明模型 I 是估计大菱鲆生长和耐高温性状遗传参数的较好模型,体质量和耐热性的遗传相关为负相关。

参考文献:

- [1] 雷霖霖. 大菱鲆 *Scophthalmus maximus* (L.) 引进养殖的初步研究[J]. 现代渔业信息, 1995(11): 1-3.
- [2] 申雪艳, 宫庆礼, 雷霖霖, 等. 进口大菱鲆 *Scophthalmus maximus* L. 苗种的遗传结构分析[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(4): 332-341.
- [3] 方永强, 翁幼竹, 杨尧, 等. “大菱鲆引进驯化和养殖”的试验[J]. 台湾海峡, 2001, 20(3): 356-362.
- [4] 黄一民, 杨德利. 我国鲆鳎鱼类养殖产业化发展研究[J]. 山西农业科学, 2009, 37(11): 58-61.
- [5] PERRY G M L, MARTYNIUK C M, FERGUSON M M, et al. Genetic parameters for upper thermal tolerance and growth-related traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2005, 250: 120-128.
- [6] 木云雷, 宋广军. 水温和盐度对大菱鲆稚鱼存活的影响[J]. 水产科学, 2005, 24(12): 1-3.
- [7] 高淳仁, 王印庚, 马爱军, 等. 温度对大菱鲆幼鱼生长、成活率和体内蛋白酶活性的影响[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(6): 33-36.
- [8] 曾庆民, 林文霖, 吴立峰, 等. 大菱鲆南方移养技术研究[J]. 海洋科学, 2006, 30(1): 1-4.
- [9] 许可. 大菱鲆与生长、耐高温性状相关的微卫星标记筛选及微卫星标记的开发研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2009.
- [10] WAMBIJI N, OHTOMI J. Morphometric relationship and condition factor of *Siganus stellatus*, *S. canaliculatus* and *S. sutor* (Pisces: Siganidae) from the Western Indian Ocean Waters [J]. South Pacific Studies, 2008, 29(1): 1-15.
- [11] MEYER K. WOMBAT—A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML) [J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2007, 8(11): 815-821.
- [12] MARTINEZ V, NEIRA R, GALL G A E. Estimation of genetic parameters from pedigreed populations: lessons from analysis of alevin weight in Coho salmon *Oncorhynchus kisutch* [J]. Aquaculture, 1999, 180: 223-236.
- [13] 马爱军, 王新安, 雷霖霖. 大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 不同生长阶段体重的遗传参数和育种值估计[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(2): 187-194.
- [14] 严福升. 牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 生长相关性状遗传力估计和耐热性状初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [15] 卢钟磊, 池信才, 王义权, 等. 褐牙鲆耐热性状相关的微卫星分子标记筛选[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2007, 46(3): 396-402.
- [16] 池信才, 王军, 宋思扬, 等. 耐温牙鲆分子标记辅助选育研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2007, 46(5): 493-496.
- [17] HÉCTOR C J, JUAN C Q C, GABRIEL C M, et al. Heritability for body weight at harvest size in the Pacific white shrimp, *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*, from a multi-environment experiment using univariate and multivariate animal models [J]. Aquaculture, 2007, 73: 42-49.
- [18] 刘永新, 刘海金. 不同模型估计牙鲆家系间生长性状遗传参数的比较分析[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(1): 40-47.
- [19] SHIKANO T. Quantitative genetic parameters for growth-related and morphometric traits of hatchery-produced Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in the wild [J]. Aquaculture Research, 2007, 38: 1248-1253.
- [20] QUINTON C D, MCMILLAN I, GLEBE B D. Development of an Atlantic salmon (*Salmo salar*) genetic improvement program: Genetic parameters of harvest body weight and carcass quality traits estimated with animal models [J]. Aquaculture, 2005 (247): 211-217.
- [21] 刘宗岳. 虹鳟主要经济性状的遗传分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007: 33-34.
- [22] CHARO-KARISA H, REZK M A, BOVEHUIS H, et al. Heritability of cold tolerance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, juveniles [J]. Aquaculture, 2005, 247: 211-217.

- 2005(249):115-123.
- [23] BEHREND L L, KINGSLEY J B, BULLS M J. Cold tolerance in maternal mouthbrooding tilapias: phenotypic variation among species and hybrids[J]. *Aquaculture*, 1990(85):271-280.
- [24] 张庆文, 张天杨, 孔杰, 等. 大菱鲆生长性状在不同生长发育阶段的相关分析[J]. *海洋水产研究*, 2008, 29(3):57-61.
- [25] 马爱军, 王新安, 杨志, 等. 大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼生长性状的遗传力及其相关性分析[J]. *海洋与湖沼*, 2008, 39(5):499-504.
- [26] 栾生, 孔杰, 张天时, 等. 基于表型值和育种值的中国对虾生长、抗逆性状相关分析[J]. *海洋水产研究*, 2008, 29(3):14-20.

Estimation of genetic parameters for growth and upper thermal tolerance traits in turbot *Scophthalmus maximus*

LIU Bao-suo^{1,2}, ZHANG Tian-shi¹, KONG Jie¹, WANG Qing-yin^{1*}, LUAN Sheng¹, CAO Bao-xiang¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Genetic parameters of growth and upper thermal tolerance traits of turbot *Scophthalmus maximus* were analyzed based on the data collected during experiments with 753 individuals from 40 families of turbot that were exposed to a thermal tolerance challenge, and two animal models were established by including a common full-sib effect or inverse. The variance components in each model were estimated with the average information restricted maximum likelihood method using WOMBAT software, and the differences between the two models were tested by likelihood ratio test. The results showed that better estimation was achieved with model I for estimating genetic parameters of body weight and upper thermal tolerance, whose heritability was (0.22 ± 0.09) and (0.026 ± 0.034) , respectively. The differences between genetic parameters of relative fatness by the two animal models were not significant, and the range of heritability was $(0.21 \pm 0.18) - (0.39 \pm 0.11)$. The correlation analysis showed that the phenotypic correlation coefficients between body weight and relative fatness, body weight and upper thermal tolerance were 0.13 and 0.04, respectively, while the phenotypic correlation coefficient between relative fatness and upper thermal tolerance was 0.13. The genetic correlation coefficients between body weight and relative fatness, body weight and upper thermal tolerance were 0.01 and -1.00 , respectively. The genetic correlation coefficient between relative fatness and upper thermal tolerance was 0.05. The results indicated that model I without including a common full-sib effect was better than model II to be used to estimate the genetic parameters in this study.

Key words: *Scophthalmus maximus*; growth; upper thermal tolerance; genetic parameter; animal model

Corresponding author: WANG Qing-yin. E-mail: qywang@public.qd.sd.cn