

温度对半滑舌鳎家系生长及性别的影响

田永胜¹, 汪娣^{1,2}, 徐莹¹, 陈松林^{1*}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业可持续发展重点开放实验室, 山东 青岛 266071;
2. 青岛农业大学生命科学学院, 山东 青岛 266109)

摘要: 以建立半滑舌鳎家系为研究材料, 在受精后 46 d, 将家系在 17.5、19.5、21.5、23.5、25.5 和 27.5 °C 6 个温度梯度下培育 65 d; 分别在受精后 64、80、103、118、129、198 d 测量各温度梯度下半滑舌鳎鱼苗体长和体重, 利用方差分析、Student-Newman-Keuls 多重比较, 分析半滑舌鳎家系鱼苗的生长规律及培育温度与体长和体重的相关性。结果显示, 在以上温度范围内鱼苗的生长速度随温度的升高而加快, 在 198 d 以后, 25.5 °C 下鱼苗生长最快 ($P < 0.05$), 21.5 ~ 23.5 °C 次之 ($P < 0.05$), 27.5 °C 生长下降 ($P < 0.05$), 17.5 ~ 19.5 °C 生长最慢 ($P < 0.05$)。在 17.5 ~ 27.5 °C, 温度与半滑舌鳎家系生长体长、体重的 Pearson 系数分别为 0.553 和 0.809, 都达到极显著正相关 ($P < 0.01$)。体长、体重与温度关系式分别为 $L = 2.460 7t^{0.997 9}$ ($R^2 = 0.362 8$) 和 $W = 9.0 \times 10^{-5} t^{2.976}$ ($R^2 = 0.789 5$)。在 198 d 解剖统计各温度梯度下雌雄比例, 同时固定 30 尾鱼苗性腺, 利用光学切片法辨别并统计雌雄性比例, 对获得的性别比例进行方差分析, 计算温度与性别比例的相关系数。结果显示, 17.5 ~ 25.5 °C 下雌性率为 27.04% ~ 35.60% ($P > 0.05$), 雄性率为 60.19% ~ 71.53% ($P < 0.05$), 27.5 °C 雌性率为 53.42% ($P < 0.05$), 雄性率为 43.49% ($P < 0.05$), 温度与雌性率呈正相关 (0.349), 与雄性率呈负相关 (-0.234)。27.5 °C 有利于提高半滑舌鳎家系鱼苗雌性的比例。

关键词: 半滑舌鳎; 生长; 温度; 性别决定; 家系

中图分类号: S 965

文献标识码: A

半滑舌鳎是我国黄渤海特有名贵经济鱼类, 经过近年来人工驯化养殖, 已经发展成为海水养殖的主要鱼类, 但是由于半滑舌鳎雌雄生长差异大, 雌性较雄性生长快, 人工繁殖培育鱼苗中雄性比例高, 达 70% 左右, 这使苗种培育和养殖成本极大提高, 严重影响了养殖经济效益, 限制了其广泛推广养殖。因此, 培育生长快、雌性化率高的半滑舌鳎鱼苗, 提高养殖苗种的品质成为人们极为关注的问题。

温度对鱼类生长具有明显的影响, 适宜的养殖环境温度可极大的提高鱼类生长速度, 对欧洲鲈 (*Dicentrarchus labrax*)^[1]、大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)^[2]、青鳉 (*Pollachius pollachius*)^[3]、大西洋鳕 (*Gadus morhua*)^[4] 等鱼类适宜生长温度的研

究, 为其养殖环境的优化提供了科学的依据。

鱼类生长与性别分化密切相关。与高等动物相比, 鱼类的性别形成具有一定的原始性和可塑性, 不仅受到遗传基因的调控, 同时也受环境因子 (如温度、光照、盐度、水质、pH 和养殖密度等) 的影响^[5], 特别是温度在鱼类性别决定中具有重要的作用, “温度依赖性别决定 (temperature-dependent sex determination, TSD)” 现象存在于很多鱼类性别形成中。CONOVER 等^[6]首次报道了月银汉鱼 (*Menidia menidia*) 的性别决定是由遗传和环境因素在仔鱼发育某个阶段共同控制的, 在不同的温度下获得了不同的性别比例。奥利亚罗非鱼 (*Oreochromis aureus*)^[7]、莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*)^[8]、江黄颡鱼

收稿日期: 2010-09-30 修回日期: 2010-12-09

资助项目: 国家自然科学基金项目 (30972244); 农业科技成果转化资金项目 (2009GB23260436); 山东省泰山学者建设工程专项资助

通讯作者: 陈松林, Tel: 0532-85844606, E-mail: chensl@ysfri.ac.cn

(*Pseudobagrus vachelli*)^[9]、斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)^[10]、欧洲鲈^[11]、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[12]和漠斑牙鲆(*Paralichthys lethostigma*)^[13]等鱼类性别对温度都具有一定的依赖性。半滑舌鲷养殖群体中雄性比例远高于雌性,是由遗传因素决定还是环境因素决定,其性别是否对温度等环境因子也具有依赖性?本文在建立半滑舌鲷家系基础上,利用不同温度对其进行调控,并对不同控制温度下半滑舌鲷鱼苗的生长、性别比例进行检测,探讨温度对半滑舌鲷生长和性别的影响及相互关系,以及半滑舌鲷温度依赖性性别决定类型。

1 材料与方法

1.1 半滑舌鲷家系的建立

2009年9月20-22日,利用海阳市黄海水产有限公司收集培育的半滑舌鲷3龄亲鱼,经过人工生殖调控达到性成熟,人工采集雌鱼卵子和雄鱼精子,以1雄对1雌的方式人工受精,建立半滑舌鲷全同胞家系,将70 mL受精卵放入22~23℃水池中孵化和培育,鱼苗培育至受精后46 d,体长达14.38~20.61 mm、体重达0.023~0.091 g时,进行温度控制实验。

1.2 家系的温度控制

依据半滑舌鲷生长温度分别设计了6个温度梯度,将家系鱼苗分别放养在17.5、19.5、21.5、23.5、25.5、27.5℃水缸中培育。每个水缸的体积为1.0 m³,每缸放养鱼苗1000尾左右,利用可自动调控温度的1000 W加热器控制水温。在各梯度温度组培育65 d之后,全部在19~20℃水温下培育。

1.3 各温度梯度家系生长测量及分析

在受精后64、80、103、118、129、198 d,对以上各个温度梯度下培育半滑舌鲷家系鱼苗的生长体长、体重进行测量,测量时每次随机选取30~60尾鱼苗。对测量数量进行方差分析(One-Way ANOVA)、Student-Newman-Keuls法多重比较,分析半滑舌鲷家系鱼苗的生长规律。

利用129 d测得的生长数据,分析17.5~27.5℃范围内,不同培育温度与鱼苗体长和体重的相关性,并分别建立体重与温度、体长与温度的乘幂函数关系 $W = aT^b$ 或 $L = aT^b$,计算决定系数 R^2 值,并作出体长、体重分别与温度的关系图。

1.4 各温度梯度下半滑舌鲷家系性别检测及分析

在以上温度培育实验中,家系生长至198 d时,从各温度梯度培养的鱼苗中随机选取40~50尾,用安定(MS-222)将鱼麻醉,直接解剖观察性腺的发育情况,雌性性腺呈长锥体状,浅灰色或浅乳黄色,前端由输卵管相联,后部位于体腔两侧,左侧发达。雄性性腺呈短锥状,呈灰黑色,同样是左侧发达,雌性性腺较雄性性腺发达。记录解剖结果并统计雌雄性比例。然后摘取30尾左右鱼性腺利用Bouin氏液固定,进行光学切片,H.E染色,显微镜下观察性腺细胞学特征并确定其性别,同时统计切片性别比例。198 d雌性性腺横切面具明显的卵巢腔,产卵瓣分布于卵巢腔周围,卵巢中分布有大的初级卵母细胞,核仁被染成紫色。雄性性腺中可见紧密排列的精小叶,精小叶中具二期精母细胞和成熟的精细胞(图1)。利用以上方法获得性别比例数据,分析不同温度下培育家系性别比例的变化规律。同时利用统计数据计算培育温度与雌雄性比例的Pearson相关系数,分析其相关性。

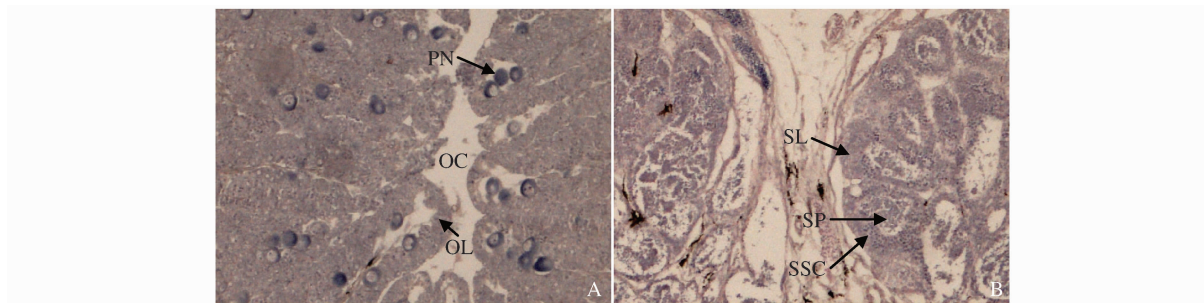


图1 受精后198 d雌(A)雄(B)半滑舌鲷性腺组织学特征(×100)

OC. 卵巢腔; OL. 产卵瓣; PN. 初级卵母细胞; SL. 精小叶的结构; SP. 精子; SSC. 二期精母细胞。

Fig.1 Histological sections of gonads in half-smooth tongue sole by day 198 post-fertilization(×100)

OC. ovarian cavity; OL. ovarian lamelle; PN. early perinucleolus stage oocytes; SL. seminal lobule; SP. spermatozoa; SSC. secondary spermatocytes.

1.5 数据分析

测量数据利用 SPSS 软件进行单因素方差和相关分析,同时利用 Student-Newman-Keuls (SNK)法对获得数据进行多重比较分析,分别在 $P=0.05$ 或 0.01 水平上分析其差异性,比较结果用字母标记法,在同一系列中字母相同表示差异不显著($P>0.05$),字母不同表示差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)。并利用 Excel 统计软件作图。

2 结果

2.1 不同温度下家系生长分析

结果显示,在 80 d 之前各培育温度下生长差异不明显,至 103 d 时生长呈现出明显的差异(图 2)。在受精后 129 d 时,17.5 °C 培育体长和体重分别达(40.67 ± 6.13) mm、0.413 g,19.5 °C 培育时达(45.18 ± 6.02) mm、0.553 g,21.5 °C 培育时达(63.03 ± 14.13) mm、1.45 g,23.5 °C 培育时达(61.27 ± 12.74) mm、1.33 g,25.5 °C 培育时达(67.43 ± 11.42) mm、1.8 g,27.5 °C 培育时达(60.78 ± 10.01) mm、1.37 g。17.5 °C 和 19.5 °C 时鱼苗生长较慢,与其它温度具显著性差异($P<0.05$),21.5 ~ 27.5 °C 下鱼苗生长差异不显著性($P>0.05$)。不同温度下其生长结果显示,随着

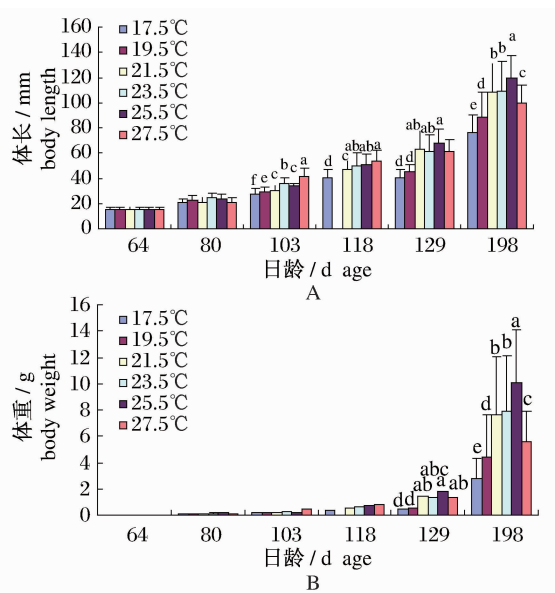


图 2 半滑舌鲷在 17.5 ~ 27.5 °C 下的体长(A)和体重(B)变化

Fig. 2 Body length (A) and body weight (B) of half-smooth tongue sole 64 – 198 days post fertilization at 17.5 – 27.5 °C

温度的升高生长速度加快,但在 27.5 °C 时生长速度有下降趋势。综合以上结果显示,适合于半滑舌鲷幼鱼培育的温度为 21.5 ~ 25.5 °C。控温结束后全部用 19 ~ 20 °C 水温培育至受精后 198 d,其生长仍然保持着 129 d 之前温度控制中形成生长趋势,25.5 °C 下鱼苗生长快($P<0.05$),21.5 ~ 23.5 °C 次之($P<0.05$),27.5 °C 生长下降($P<0.05$),17.5 ~ 19.5 °C 生长最慢($P<0.05$)。

2.2 温度与体长、体重相关分析

在 17.5 ~ 27.5 °C 的培育水温下,温度与半滑舌鲷家系生长体长、体重的 Pearson 系数分别为 0.553 和 0.809,体长和体重的相关系数为 0.681 (表 1),都达到极显著正相关($P<0.01$)。在此

表 1 温度与半滑舌鲷体长、体重相关分析

Tab. 1 Correlations between temperature and body size (body length and weight) in half-smooth tongue sole

		温度 temperature	体长 length	体重 weight
温度 temperature	Pearson correlation	1	0.553 **	0.809 **
	Sig. (2-tailed)	.	0.000	0.000
体长 length	Pearson correlation	0.553 **	1	0.681 **
	Sig. (2-tailed)	0.000	.	0.000
体重 weight	Pearson correlation	0.809 **	0.681 **	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	.
	N	171	171	171

注: ** 表示在 $P=0.01$ 水平上具有极显著性差异。

Notes: ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

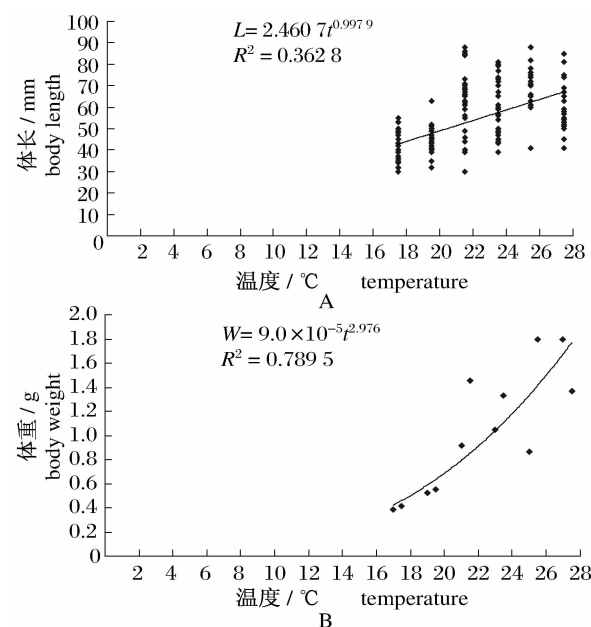


图 3 温度与半滑舌鲷体长(A)、体重(B)关系

Fig. 3 Relationship between temperature and body size [body length (A) and weight (B)] in half-smooth tongue sole

培育温度下测得的生长数据拟合了体长和体重与温度关系式: $L = 2.4607t^{0.9979}$ ($R^2 = 0.3628$), $W = 9.0 \times 10^{-5}t^{2.976}$ ($R^2 = 0.7895$), 式中 $b < 3$, 说明在此温度范围内随着温度的升高鱼苗的体长和体重也相应的快速生长, R^2 值越大表明关系图的趋势线与各数据点的拟合程度越好(图 3), 从趋势图显示, 随着温度的升高体长和体重显著增加。

2.3 培育温度对半滑舌鲷家系性别比例的影响

统计分析显示, 在 17.5 ~ 25.5 °C 下培育半滑舌鲷鱼苗的雌性率为 27.04% ~ 35.60%, 各培育

温度下的雌性率无显著性差异 ($P > 0.05$), 只有在 27.5 °C 左右雌性率略高于雄性率, 为 53.42%, 与其它温度下相比具有显著性差异 ($P < 0.05$)。而雄性率在 23.5 ~ 25.5 °C 最高 ($P < 0.05$), 为 60.19% ~ 71.53%, 27.5 °C 雄性率最低 ($P < 0.05$), 为 43.49% (表 2)。结果显示相对高温有利于诱导半滑舌鲷鱼苗雌性化(图 4), 相对低温则诱导其雄性化。在生产中利用 27.5 °C 水温培育半滑舌鲷苗可有效诱导提高雌性化率。

表 2 半滑舌鲷在 17.5 ~ 27.5 °C 培育下的雌雄性比例

Tab. 2 The proportion of female and male in half-smooth tongue sole reared at 17.5 ~ 27.5 °C $n = 3$

温度(°C) temperature	雌性率(%) female ratio			雄性率(%) male ratio		
	mean ± SD	min	max	mean ± SD	min	max
17.5	34.68 ± 4.46 ^b	30.00	38.89	65.32 ± 4.46 ^b	61.11	70.00
19.5	27.81 ± 14.39 ^b	13.33	42.11	60.19 ± 25.41 ^b	36.00	86.67
21.5	35.60 ± 7.83 ^b	27.00	42.31	60.76 ± 2.66 ^b	57.69	62.50
23.5	27.04 ± 15.47 ^b	11.11	42.00	69.09 ± 17.19 ^a	58.00	88.89
25.5	28.47 ± 5.20 ^b	22.50	32.00	71.53 ± 5.20 ^a	68.00	77.50
27.5	53.42 ± 6.08 ^a	47.00	59.09	43.49 ± 2.47 ^c	40.91	45.83

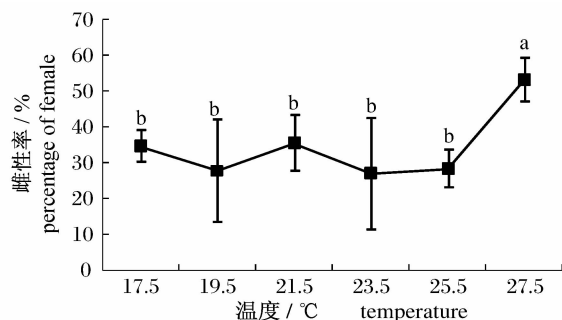


图 4 在 17.5 ~ 27.5 °C 培育温度下对半滑舌鲷雌性比例的影响 ($n = 3$)

Fig. 4 Variation curve of female ratio of half-smooth tongue sole reared at 17.5 ~ 27.5 °C ($n = 3$)

2.4 温度与半滑舌鲷性别比例相关分析

经过温度调控实验后, 2 号家系在各培育温度下平均雌性比例为 34.51% ± 12.53%, 雄性比例为 61.73% ± 14%。家系培育的平均温度为 (22.50 ± 3.74) °C。温度与雌性比例的 Pearson 系数为 0.349, 温度与雄性的 Pearson 系数为 -0.234, 说明温度与雌性比例呈正相关, 与雄性比例呈负相关; 雌性与雄性比例呈负相关 ($P < 0.01$) (表 2)。

表 2 温度与半滑舌鲷性别比例的相关性

Tab. 2 Correlations between temperature and female (male) ratio in half-smooth tongue sole $n = 18$

		温度 (°C)	雌性率 (%)	雄性率 (%)
		temperature	female ratio	male ratio
温度(°C) temperature	Pearson correlation	1	0.349	-0.234
	sig. (2-tailed)		0.156	0.351
雌性率(%) female rate	Pearson correlation	0.349	1	-0.783**
	Sig. (2-tailed)	0.156		0.000
雄性率(%) male rate	Pearson correlation	-0.234	-0.783**	1
	Sig. (2-tailed)	0.351	0.000	
	N	18	18	18

注: ** 表示在 $P = 0.01$ 水平上具有极显著差异。

Notes: ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

3 讨论

温度对鱼类的生长、洄游行为、繁殖、胚胎孵化等具有明显的影响, 在鱼类养殖中适合的温度对于提高鱼类生长速度, 获得较高的经济效益都有重要作用。鱼类的生长是养殖生产中最为关注的问题, 特别是随着人们对水产品需求量的迅速

增长,水产养殖公司都希望能够培育出生长速度快的养殖新品种,以进一步提高鱼类养殖的产量。通过调节环境温度来促进鱼类生长是最有效的途径之一。不同鱼类对温度具有不同的适应性,欧洲鲈在 13~25 °C 范围内随着温度的升高生长速度逐渐加快,当温度达到 29 °C 时生长速度降低,实验期间(84 d),在 13、25 和 29 °C 培育下每日增重率分别为 0.45%、1.29% 和 1.21%,温度与日增重率的推算公式显示,当温度在 26 °C 时日增重率最大^[1]。大菱鲂在 15.2~24 °C 范围内培养,随着温度的升高其成活率和生长率都逐渐降低,22~24 °C 不适宜于大菱鲂养殖,最适温度不宜于超过 18 °C^[2]。青鳉在 9 °C 时生长缓慢,12~15 °C 时生长最快,在 21 °C 时几乎不生长^[3]。大西洋鳕最适生长温度随着体重的增加而逐渐降低,体重为 2、20、200 和 2 000 g 时的最适生长温度分别为 15.0、13.0、11.1 和 9.2 °C^[4]。温度对半滑舌鲷幼鱼生长具有明显的影响,如在 16~28 °C 范围内随温度的升高,半滑舌鲷幼鱼生长率总体呈现先升高后降低的趋势,在 19~25 °C,半滑舌鲷幼鱼的特定生长率相对较高,在 16 和 28 °C 则有所降低,而在 31 °C 半滑舌鲷幼鱼特定生长率则显著降低^[15]。本文利用建立的半滑舌鲷家系鱼苗进行了温度对其生长影响研究,在受精后 46 d,将家系分别置于 17.5~27.5 °C 范围内进行培育,家系鱼苗的生长结果显示,在 17.5~27.0 °C 随着温度的升高,鱼苗的生长速度呈逐渐加快趋势,但当温度达到 27.5 °C 时,鱼苗生长速度下降,这一点与以上研究结果有相似之处。说明 27.5~28 °C 是半滑舌鲷鱼苗生长速度的拐点。但在 19.5 °C 以下鱼苗的生长速度较慢 ($P < 0.05$),受精后 129 d,25.5 °C 的体长是 19.5 °C 的 1.49 倍,19.5 °C 以下不适于半滑舌鲷幼苗的培育。通过温度与体长和体重的相关性分析显示,在 17.5~27.5 °C 范围内温度与半滑舌鲷幼鱼的体长和体重都呈现显著正相关 ($P < 0.01$),体长和体重与温度关系式同样显示出其正相关。从体长、体重与温度的函数关系及趋势图中也明显的反映出在 17.5~27.5 °C 范围内半滑舌鲷家系鱼苗的生长与温度成正相关。可见在半滑舌鲷鱼苗培育中,适当提高培育水温可提高鱼苗生长速度,25.5 °C 更适合于半滑舌鲷鱼苗的生长。

鱼类性别分化与生长有着紧密的联系,同一群

体中生长较慢的个体性别分化也较晚。这一点在许多鱼类都可观察到,欧洲鲈鱼在低温下培育时生长速度明显慢于高温下培育 ($P < 0.05$),性腺的发育低温也慢于高温,低温培育时的性腺指数明显低于高温下培育 ($P < 0.05$)^[11]。半滑舌鲷性腺发育与温度和体长也具有明显的相关性,在低温下培育时其生长速度慢,性腺发育明显迟于高温下培育。在解剖时发现体长低于 7 cm 的个体,用肉眼很难分辨性腺的雌雄性,只有借助光学切片才能分辨,体长达到 10 cm 时解剖特征才较明显。

气候的变化对海龟 (*Chelonia mydas*) 的性别具有潜在的影响^[16],温度依赖性性别决定 (TSD) 普遍存在于两栖爬行类^[17]。许多鱼类性别分化也易于受到环境因素的影响,其中温度在诸多环境因子中对鱼类性别分化影响的研究较为广泛。泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 和大鳞副泥鳅 (*Paramisgurnus dabryanus*) 胚胎在 20~30 °C 范围内发育,随着温度的升高其雄性率明显提高,可达 80% 以上^[18]。奥利亚罗非鱼在 36 °C 高温诱导雄性率提高^[7]。江黄颡鱼 (*Pseudobagrus vachelli*) 幼鱼在 30.0 °C 左右性腺趋向雄性发育,雄性率达到 83.3%,34.0 °C 左右性腺趋向雌性发育,雄性化率仅为 26.4%^[9]。斑点叉尾鲷在 34 °C 高温下诱导也可使雌性化率提高,雌雄比达 1.68:1^[10]。欧洲鲈鱼在高温能提高雌性比例,而低温能提高雄性比例^[11]。莫桑比克罗非鱼在孵化后 5 d 采用低温处理雌性比例升高^[8]。牙鲆^[12] 和漠斑牙鲆^[13-14] 高温和低温都诱导产生高比例的雄性种群,而在中间温度性比趋向 1:1。根据不同鱼类在高温或低温下性别分化方向,有人将鱼类温度依赖性性别决定 (TSD) 归纳为 3 种类型:第 I 类是在高温诱导鱼类雄性化,低温诱导其雌性化,如银汉鱼科 Atherinidae、Poeciliidae,慈鲷科 Cichlidae,鲈科 Pleuronectidae,鲤科 Cyprinidae。第 II 类是高温诱导鱼类雌性化,而低温诱导其雄性化,如斑点叉尾鲷、欧洲鲈鱼。第 III 类是在高低温下均诱导出比例较高的雄性个体,中间温度性比趋向平衡,这一类型主要存在于褐牙鲆和漠斑牙鲆^[14]。

半滑舌鲷在我国海水养殖鱼类中具有很高的经济价值,雌性较雄性生长快,2 龄鱼雌性体重可达 600 g 以上,雄性达 150 g,雌、雄性鱼体重相差 4 倍^[19]。但是在多年的半滑舌鲷养殖生产发现,养殖群体中性别比例总是倾向于雄性化,在生产中其

雄性率高达 70% 以上。本文将同一家系的半滑舌鲷鱼苗从受精后 46 ~ 129 d, 分别培育在 17.5 ~ 27.5 °C 范围内的 6 个梯度水温中, 然后经过性腺解剖、组织切片观察判别性别, 统计雌雄比例的方法, 来检测温度对半滑舌鲷同一家系鱼苗性别比例的影响, 发现在 17.5 ~ 25.5 °C 半滑舌鲷鱼苗的雌性率没有显著区别, 在 27.04% ~ 35.60% 之间; 但在 27.5 °C 时雌性率显著提高到 53.42%, 其雄性率正好相反, 结果说明相对高温可诱导半滑舌鲷鱼苗雌性化, 低温可诱导其雄性化, 这一点与以上第 II 类鱼类温度性别决定相似。在大量半滑舌鲷鱼苗培育生产中, 鱼卵的孵化和鱼苗的培育温度一般在 22 ~ 23 °C, 在这一温度下半滑舌鲷的雌性率在 30.0% 左右, 或不超过这一比例(海阳市黄海水产有限公司养殖数据), 本实验 21.5 ~ 23.5 °C 培育雌性率为 27.04% ~ 35.6%, 与生产中获得的数据相近, 说明本实验测量数量具有可靠性。培育温度与雌性和雄性的 Pearson 系数显示, 温度与雌性正相关, 而与雄性成负相关。本研究结果为半滑舌鲷的性别控制提供了一定参考。

参考文献:

- [1] PERSON-LE RUYET J, MAHÉ K, LE BAYON N, *et al.* Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax* [J]. *Aquaculture*, 2004, 237(1-4): 269-280.
- [2] SAHÍ T. Effect of water temperature on growth of hatchery reared Black Sea Turbot, *Scophthalmus maximus* (Linnaeus, 1758) [J]. *Turk J Zool*, 2001, 25: 183-186.
- [3] PERSON-LE RUYET J, BUCHET V, VINCENT B, *et al.* Effects of temperature on the growth of Pollack (*Pollachius pollachius*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2006, 251(2-4): 340-345.
- [4] BJÖRNSSON B, STEINARSSON A, ÁRNASON T. Growth model for Atlantic cod (*Gadus morhua*): Effects of temperature and body weight on growth rate [J]. *Aquaculture*, 2007, 271: 216-226.
- [5] 季相山, 陈松林, 马洪雨, 等. 半滑舌鲷养殖群体中自然性逆转伪雄鱼的发现 [J]. *水产学报*, 2010, 34(2): 322-335.
- [6] CONOVER D O, KYNARD B E. Environmental sex determination: Interaction of temperature and gynotype in a fish [J]. *Science*, 1981, 213: 577-579.
- [7] DESPREZ D, MELAND C. Effect of ambient water temperature on sex determinism in the blue tilapia, *Oreochromis aureus* [J]. *Aquaculture*, 1998, 162: 79-84.
- [8] WANG L H, TSAI C L. Effects of temperature on the deformity and sex differentiation of tilapia, *Oreochromis mossambicus* [J]. *J Exp Zool*, 2000, 285: 534-537.
- [9] 程晓春, 林丹军, 尤永隆. 温度对江黄颡鱼性分化的影响 [J]. *动物学研究*, 2007, 28(1): 73-80.
- [10] PATINO R, DAVIS K B, SCHOORE J E, *et al.* Sex differentiation of channel catfish gonads: Normal development and effects of temperature [J]. *J Exp Zool*, 1996, 276: 209-218.
- [11] BLÁQUEZ M, ZANUY S, CARILLO M, *et al.* Effects of rearing temperature on sex differentiation in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) [J]. *J Exp Zool*, 1998, 281: 207-216.
- [12] YAMAMOTO E. Studies on sex manipulation and production of cloned populations in hirame, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel) [J]. *Aquaculture*, 1999, 173: 235-246.
- [13] LUCKENBACK J A, GODWIN J, DANIELS H V, *et al.* Gonadal differentiation and effects of temperature on sex determination in southern flounder (*Paralichthys lethostigma*) [J]. *Aquaculture*, 2003, 216: 315-327.
- [14] LUCKENBACH J A, BORSKI R J, DANIELS H V, *et al.* Sex determination in flatfishes: Mechanisms and environmental influences [J]. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 2009, 20(3): 256-263.
- [15] 房景辉, 田相利, 董双林, 等. 温度对半滑舌鲷的生长、生化组成和能量收支的影响 [J]. *中国海洋大学学报*, 2010, 40(1): 25-30.
- [16] HAWKES L A, BRODERICK A C, GODFREY M H, *et al.* Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population [J]. *Global Change Biology*, 2007, 13: 1-10.
- [17] GEORGES A, EZAZ T, QUINN A E, *et al.* Are reptiles predisposed to temperature-dependent sex determination? *Sexual Development*, DOI: 10.1159/000279441, Published online: January 29, 2010.
- [18] 南平, 杜启艳, 燕帅国, 等. 温度对泥鳅和大鳞副泥鳅性腺分化的影响和 CYP 19a 基因的克隆与时空表达 [J]. *中国水产科学*, 2005, 12(4): 407-414.
- [19] 田永胜, 陈松林, 邵长伟, 等. 鲈鱼冷冻精子诱导半滑舌鲷胚胎发育 [J]. *海洋水产研究*, 2008, 29(2): 1-9.

Effects of rearing temperature on growth and sex determination in the half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*)

TIAN Yong-sheng¹, WANG Di^{1,2}, XU Ying¹, CHEN Song-lin^{1*}

(1. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. College of Life Sciences and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: Half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) is a commercially important cultured marine flatfish, in which females grow faster than males. However, under culture conditions, male ratio is higher than female ratio in the half-smooth tongue sole. To find out the reason, one half-smooth tongue sole family is reared for 65 days, from 64 to 129 days post-fertilization (dpf) at 17.5, 19.5, 21.5, 23.5, 25.5 and 27.5 °C, respectively. The body size (body length and weight) of the fish was measured on 64, 80, 103, 118, 129 and 198 dpf, respectively, and then the relationships between temperature and body size were analyzed by ANOVA and Student-Newman-Keuls. The result showed that the growth rate of tongue sole increased with the increase of temperature from 17.5 – 25.5 °C ($P < 0.05$) and then decreased at 25.5 – 27.5 °C ($P < 0.05$) on 198 dpf. The Pearson correlation coefficient of temperature and the body lengths and weights of tongue sole were 0.553 and 0.809 ($P < 0.01$), respectively. Moreover, the relationship between temperature and the body lengths and weights of tongue sole were described as equations $L = 2.4607t^{0.9979}$ ($R^2 = 0.3628$) and $W = 9.0 \times 10^{-5}t^{2.976}$ ($R^2 = 0.7895$), respectively. In addition, the gonads of half-smooth tongue sole were analyzed by morphological examination and histological sectioning on 198 dpf. The sex proportions and correlations between temperature and sex determination were analyzed by the method of ANOVA. The result showed that, low temperature (17.5 – 25.5 °C) produced a higher proportion of males (27.04% – 35.60% females, $P > 0.05$; 60.19% – 71.53% males, $P < 0.05$). When reared at 27.5 °C, the proportion of female was up to 53.42% ($P < 0.05$), but 43.49% ($P < 0.05$) of males. At 17.5 – 27.5 °C, the temperature was positively correlated with the female (0.349), and the male was negatively correlated (-0.234). The study suggests that temperature plays an important role in the process of sex differentiation and growth of the half-smooth tongue sole.

Key words: *Cynoglossus semilaevis*; growth; temperature; sex determination; family

Corresponding author: CHEN Song-lin. E-mail: chensl@ysfri.ac.cn