

文章编号: 1674-5566(2019)02-0161-10

DOI:10.12024/jsou.20180402263

敞口池塘和遮荫池塘养殖美洲鲈当年鱼种的生长规律和差异

施永海, 徐嘉波, 刘永士, 邓平平, 谢永德, 张海明, 严银龙

(上海市水产研究所、上海市水产技术推广站, 上海 200433)

摘要: 对 600 尾各生长阶段的敞口池塘和遮荫池塘养殖美洲鲈当年鱼种的体长、体质量进行了测量与分析, 研究比较了两种池塘养殖鱼种生长的规律和差异。结果显示: 敞口池塘和遮荫池塘养殖美洲鲈当年鱼种的体长与体质量均呈良好的幂函数增长关系 ($W = aL^b$, $R^2 > 0.99$, $P < 0.01$, $n = 300$), b 值接近且略小于 3 (分别为 2.786 4 和 2.843 1), 体长生长略快于体质量生长。养殖试验初期 (0 ~ 15 d), 美洲鲈当年鱼种出现飞跃式补偿生长, 而后鱼种体长和体质量的特定生长率均随养殖日龄增加呈现下降趋势。敞口池塘和遮荫池塘的鱼种体长生长均可用一次线性函数 ($L = at + b$, $R^2 > 0.97$, $P < 0.01$, $n = 9$) 拟合, 体质量生长均可用二次函数拟合 ($W = at^2 + bt + c$, $R^2 > 0.97$, $P < 0.01$, $n = 9$); 养殖前期, 在 57 d (9 月 13 日) 前, 敞口池塘的鱼种生长优于遮荫池塘, 养殖后期, 在 79 d (10 月 5 日) 后, 则相反。敞口池塘的饵料系数 (1.22) 低于遮荫池塘 (2.04)。敞口池塘鱼种体长和体质量的变异系数明显小于遮荫池塘的变异系数 ($P < 0.05$)。研究表明美洲鲈幼鱼对高温有良好的适应能力, 其高温耐受力高于成鱼。建议美洲鲈池塘养殖过程中, 当年鱼种采用敞口池塘养殖, 而成鱼采用遮荫池塘养殖。

关键词: 美洲鲈; 鱼种; 生长; 敞口池塘; 遮荫池塘

中图分类号: S 965.3

文献标志码: A

美洲鲈 (*Alosa sapidissima*) 隶属于鲱形总目 (Clupeomorpha)、鲱形目 (Clupeiformes)、鲱科 (Clupeidae)、西鲱属 (*Alosa*), 系生殖洄游鱼类, 主要分布于北美洲大西洋西岸从加拿大魁北克省到美国的佛罗里达州河流和海洋中。美洲鲈丰腴肥硕, 肉鲜味美, 具很高的经济价值, 且适合池塘养殖和工厂化养殖, 因而被世界各地广泛引种^[1-3]。国内, 上海市水产研究所于 1998 年率先从美国引进美洲鲈受精卵进行人工繁育^[1], 由于美洲鲈与中国鲈 (*Tenualosa reevesii*) 的外形相似、肉质相近^[1], 养殖美洲鲈深受国内市民喜爱, 市场价格也非常高, 可达 120 ~ 150 元/kg。

目前, 国内美洲鲈养殖面积日益扩大, 养殖模式主要有 3 种, 即工厂化养殖^[1,4,6]、网箱养殖^[7]和池塘养殖^[8-9]。采用养殖方式最多的是工厂化养殖^[1,4,6], 但是工厂化养殖也有一定的局限性, 如前期基础建设投入比较大, 运行成本较高,

而且需要抽取深井水^[4,5]或者引用山泉水^[6]来维持养殖用水的水温; 而网箱养殖需要大水面^[7], 如大河、大江、湖泊等, 在国家环保要求日益提高的形势下, 抽取地下水或者大水面网箱的养殖模式将面临严峻的环保压力, 但美洲鲈池塘养殖模式, 特别是生态养殖模式, 对环境的压力较小, 前景看好。在江浙一带, 池塘养殖美洲鲈成鱼常因夏季池塘水温过高而大量死亡, 因此养殖户养殖美洲鲈成鱼均采用遮荫膜遮盖池塘来安全度夏^[9]。研究表明有些鱼类不同的生长阶段对环境的要求是不同的^[10-11], 那么美洲鲈的当年鱼种 (幼鱼阶段) 对夏季池塘高水温的耐受能力如何? 是否也需要池塘遮荫度夏? 同时, 敞口池塘与遮荫池塘养殖鱼种的生长、肥满度等生长性能指标是否存在差异? 这一系列的问题急需研究来确定。

近年来, 国内外有关美洲鲈生长发育的应用

收稿日期: 2018-04-07

修回日期: 2018-12-09

基金项目: 上海市科学技术委员会重点攻关项目 (16391900400); 上海市科技兴农重点攻关项目 (沪农科攻字 [2014] 第 7-1-9 号); 上海长江口主要经济水生动物人工繁育工程技术研究中心 (13DZ2251800)

作者简介: 施永海 (1975—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为水产养殖、水环境监测及繁殖生物学。E-mail: yonghais@163.com

基础研究主要集中于仔稚鱼发育^[12-14]、仔稚幼鱼生长^[15]、工厂化养殖幼鱼的生长^[16]、池塘养殖 1 龄越冬鱼种(1⁺龄亚成鱼)生长^[9]和个体的周年生长(0~3 年龄)^[1]等,但均未涉及池塘养殖条件下美洲鲈当年鱼种(繁育当年 7 月到 12 月的鱼种,0 年龄)的生长特性。本文通过对敞口池塘和遮荫池塘养殖美洲鲈当年鱼种生长规律的研究,来评估两种池塘养殖该鱼种的生长及差异,以期为美洲鲈当年鱼种池塘养殖提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 池塘条件

敞口池塘(61[#],试验塘),面积 1 200 m²,泥沙底质,配备有 1 台 1.5 kW 的增氧机和独立进排水系统,进水口用 60 目筛绢网过滤,排水口设网眼为 2 mm×3 mm 的围网和 40 目的闸网;遮荫池塘(10[#]东,对照塘),面积 1 667 m²,为降低夏季的池塘水温,在池塘上方覆盖一层遮荫率为 75% 的遮荫膜^[9],两侧通风,到 10 月 11 日,拆除遮荫膜,遮荫池塘的其他条件与敞口池塘类似。池塘使用前,清塘消毒,池底浸泡消毒 24 h 后,彻底排干曝晒待用。

1.1.2 试验用鱼和用水

试验用美洲鲈鱼苗由上海市水产研究所奉贤科研基地全人工集约化繁育,鱼苗在室内水泥池进行了膨化配合饲料的驯化,90% 以上的鱼苗能摄食膨化配合饲料,鱼苗规格为体长(3.24±0.51) cm,体质量(0.71±0.35) g ($n=60$)。试验用水为当地河口水(盐度为 2~3)。

1.2 方 法

1.2.1 鱼苗放养

鱼苗放养前,池塘要提前培养基础饵料生物,根据放苗时间,提前 5~7 d 进水,先进水 50 cm,然后逐步添加水到 1.5 m 水位,培养饵料生物期间晴好天气中午增氧机开机 1 h,晚上则基本不开,一般在水温 25~30 ℃ 时,3~5 d 后水色变浓,过 3~5 d 后水体中就会出现枝角类、桡足类幼体等饵料生物,用烧杯在池内多点取样检测饵料生物,等到生物量达到 20~40 个/L 即可放养鱼苗。

选择阴天早上放养鱼苗,鱼苗下塘前,提前开启增氧机,使池水不分层,采用 20 L 的圆桶遮光运输,每桶放 20~30 尾。放苗时先将桶倾倒,让池塘里的水先进入桶内,让鱼苗适应 2~3 min 后,再放出鱼苗,放养密度为 3.26 个/m²,放苗的基本情况见表 1。

表 1 鱼苗放养基本情况

Tab. 1 The basic culture conditions of *A. sapidissima*

养殖池塘 Culture pond	池号 Pond number	面积 Area/ m ²	水深 Depth of water/ m	放养总数 Sum of fish stocking/ 个	放养密度 Stocking density/ (个/m ²)
遮荫池塘 Shaded pond	10 东	1 667	1.5	5 437	3.26
敞口池塘 Outdoor pond	61	1 200	1.5	3 915	3.26

1.2.2 日常管理

放苗 10 d 开始投喂粗蛋白含量为 40% 的海水鱼膨化饲料(浙江明辉饲料有限公司),每天 2 次(8:00;16:00),投喂量以 2 h 摄食完为准。放苗后,晚上增氧机开机 8~10 h;另外,天气恶劣时,增加开机时间;平时每隔半个月换水 1/3,当池塘水或者外源水的水温超过 32 ℃ 时,则尽量减少换水。试验期间,每天测温 2 次(8:00;16:00)。养殖试验从 2017 年 7 月 18 日开始,到 2017 年 11 月 15 日结束,共 120 d。

1.3 取样与数据分析方法

试验期间,约每两周取样一次,每次每池取

样 30 尾,分别用卡尺(0.1 cm)和电子天平(0.01 g)测量记录鱼种的体长和体质量。设定放苗日期为养殖零日龄。

所有数据用 Mean±SD 表示,采用 Excel 和 SPSS 19.0 处理数据及图表。以 $P<0.01$ 建立回归曲线来拟合各方程关系式;用配对样本 t 检验来比较敞口池塘和遮荫池塘的水温、鱼种体长、体质量以及肥满度的变异系数, $P<0.05$ 为差异显著。

数据分析所用公式为

$$\text{体长与体质量关系: } W = aL^b \quad (1)$$

肥满度(condition factor, CF):

$$C_F = W/L^3 \times 100\% \quad (2)$$

变异系数(coefficient of variation, CV):

$$C_V = S_D/X \times 100\% \quad (3)$$

体长特定生长率(body length specific growth rate, SGRL):

$$L_{SGR} = (\ln L_2 - \ln L_1)/(t_2 - t_1) \times 100 \quad (4)$$

体质量特定生长率(body weight specific growth rate, SGRW):

$$W_{SGR} = (\ln W_2 - \ln W_1)/(t_2 - t_1) \times 100 \quad (5)$$

式中: L_{SGR} 为体长特定生长率,%/d; W_{SGR} 为体质量特定生长率,%/d; L 是体长,cm; W 是体质量,g; S_D 为标准差; X 为平均值; t 是养殖日龄,d; a 、 b 都是常数。

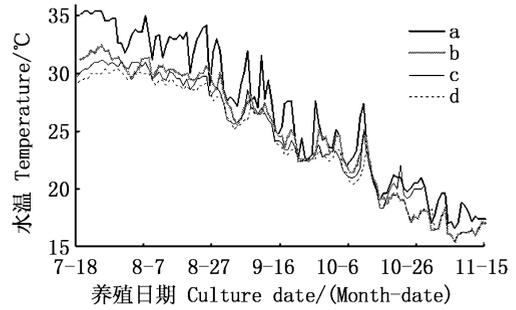
2 结果与分析

2.1 生长情况

由图 1 可知,遮荫池塘水温变化与敞口池塘比较相对平稳,遮荫池塘昼夜温差明显小于敞口池塘,其阶段平均水温及昼夜变化幅度都明显低于敞口池塘(表 2~3)。试验开始阶段,养殖日龄 15 d 内,美洲鲈当年鱼种从集约化培育的室内水泥池移入室外池塘,敞口池塘和遮荫池塘的鱼种均有一个飞跃式生长阶段,敞口和遮荫池塘鱼种体长和体质量的特定生长率均最高,体长特定生长率分别为 2.02 %/d 和 3.59 %/d,体质量特定生长率分别为 4.30 %/d 和 8.69 %/d,而后鱼种体长和体质量的特定生长率均随养殖日龄增加而呈下降趋势(表 2~3)。敞口池塘和遮荫池塘的鱼种稳定生长阶段分别为 16~79 d(体质量特定生长率为 1.78 %/d~3.09 %/d)和 16~92 d(体质量特定生长率为 2.83 %/d~4.77 %/d),随后鱼种进入生长缓慢增长阶段:敞口池塘和遮荫池塘的鱼种体质量特定生长率分别为 0.95 %/d~1.59 %/d 和 0.31 %/d~0.82 %/d。

经过 120 d 的养殖,敞口池塘的鱼种平均体长和体质量达到 12.20 cm 和 23.48 g(表 2),分别增长 276.65 % 和 3 207.04 %,而遮荫池塘的鱼种体长和体质量达到 12.46 cm 和 26.53 g(表 3),分别增长 284.57 % 和 3 636.62 %。养殖前期,在 57 d(9 月 13 日)前,敞口池塘的美洲鲈鱼种平均体长和体质量均大于遮荫池塘;养殖后期,在 79 d(10 月 5 日)后,则相反(表 2~3,图 2~3)。敞口池塘和遮荫池塘的养殖成活率分别

为 75.50 % 和 81.02 %,敞口池塘的饵料系数(1.22)低于遮荫池塘(2.04)。



a. 敞口池塘下午水温; b. 遮荫池塘下午水温; c. 敞口池塘上午水温; d. 遮荫池塘上午水温
a. outdoor pond in the afternoon; b. shaded pond in the afternoon; c. outdoor pond in the morning; d. shaded pond in the morning

图 1 敞口池塘和遮荫池塘水温变化情况
Fig. 1 The water temperature changes of outdoor and shaded ponds

在肥满度方面,敞口和遮荫池塘养殖的美洲鲈当年鱼种的肥满度变化均可分为 3 个阶段,即鱼种肥满度随养殖日龄呈现波动下降趋势:放养时鱼种的肥满度最高(1.90),随后鱼种肥满度有一个迅速下降和小的回升过程,在 57~79 养殖日龄(9 月 13 日—10 月 5 日)肥满度回升到第二高点,肥满度分别为 1.52~1.66(敞口池塘)和 1.51(遮荫池塘),而后随着养殖日龄增加,鱼种的肥满度逐渐下降,到试验结束时(11 月 15 日),鱼种的肥满度最低,分别为 1.28(敞口池塘)和 1.35(遮荫池塘),见表 2~3。

2.2 体长与体质量的关系

两种池塘养殖美洲鲈当年鱼种的体长与体质量均呈良好的幂函数关系($W = aL^b$, $R^2 > 0.99$, $P < 0.01$, $n = 300$),方程式分别为 $W = 0.023 1L^{2.786 4}$ (敞口池塘,图 2 中 a)和 $W = 0.020 4L^{2.843 1}$ (遮荫池塘,图 2 中 b),两个方程的 a 、 b 非常接近,且 b 均接近于 3,呈等速增长,体长增长略快于体质量增长。

2.3 一般生长型

敞口池塘和遮荫池塘养殖美洲鲈当年鱼种的体长随养殖日龄均呈现线性增长关系,方程式分别为 $L = 0.068 9t + 4.138 3$ (敞口池塘, $R^2 > 0.97$, $P < 0.01$, $n = 9$)和 $L = 0.081 8t + 3.193 4$ (遮荫池塘, $R^2 > 0.97$, $P < 0.01$, $n = 9$),两方程的直线相交于 73.25 d(9 月 29 日),见图 3。

表 2 敞口池塘养殖美洲鲈当年鱼种的阶段生长

Tab. 2 Phase growth of young fish *A. sapidissima* cultured in outdoor pond ($n = 30$)

日期 Date	养殖日龄 Culture day/d	阶段水温 Interzone temperature/ °C	温度变异系数 CV of temperature/ %	平均体长 Body length/ cm	平均体质量 Body mass/ g	肥满度 Condition factor/ %	体长特定 生长率 SGRL/ (%/d)	体质量特定 生长率 SGRW/ (%/d)
7-18	0			3.24 ± 0.51	0.71 ± 0.35	1.90 ± 0.20		
8-02	15	32.92 ± 1.79	5.45	5.55 ± 0.63	2.61 ± 0.91	1.47 ± 0.17	3.59	8.69
8-16	29	31.76 ± 1.57	4.93	6.44 ± 0.47	3.97 ± 0.88	1.46 ± 0.10	1.06	3.01
8-30	43	30.92 ± 1.87	6.05	7.45 ± 0.67	6.03 ± 1.79	1.41 ± 0.11	1.04	2.98
9-13	57	27.66 ± 1.55	5.62	8.43 ± 0.73	9.29 ± 2.42	1.52 ± 0.10	0.88	3.09
10-05	79	24.15 ± 1.50	6.22	9.36 ± 0.69	13.75 ± 3.11	1.66 ± 0.15	0.47	1.78
10-18	92	21.73 ± 2.32	10.67	10.49 ± 0.78	16.46 ± 3.57	1.41 ± 0.10	0.88	1.38
11-01	106	18.88 ± 1.51	8.01	11.36 ± 0.79	20.55 ± 4.28	1.38 ± 0.11	0.57	1.59
11-15	120	17.16 ± 1.07	6.25	12.20 ± 0.63	23.48 ± 3.92	1.28 ± 0.09	0.50	0.95

表 3 遮荫池塘养殖美洲鲈当年鱼种的阶段生长

Tab. 3 Phase growth of young fish *A. sapidissima* cultured in shaded pond ($n = 30$)

日期 Date	养殖日龄 Culture day/ d	阶段水温 Interzone temperature/ °C	温度变异系数 CV of temperature/ %	平均体长 Body length/ cm	平均体质量 Body mass/ g	肥满度 Condition factor/ %	体长特定 生长率 SGRL/ (%/d)	体质量特定 生长率 SGRW/ (%/d)
7-18	0			3.24 ± 0.51	0.71 ± 0.35	1.90 ± 0.20		
8-02	15	30.30 ± 0.54	1.78	4.39 ± 0.58	1.35 ± 0.59	1.48 ± 0.20	2.02	4.30
8-16	29	29.91 ± 0.61	2.05	5.26 ± 0.87	2.27 ± 1.31	1.40 ± 0.21	1.30	3.71
8-30	43	28.75 ± 0.67	2.34	6.64 ± 0.92	4.42 ± 1.66	1.45 ± 0.14	1.66	4.77
9-13	57	26.26 ± 0.70	2.65	7.91 ± 0.89	7.77 ± 2.65	1.51 ± 0.10	1.25	4.03
10-05	79	22.98 ± 0.72	3.15	9.73 ± 1.08	14.47 ± 4.86	1.51 ± 0.08	0.94	2.83
10-18	92	20.67 ± 1.69	8.18	11.61 ± 1.11	22.64 ± 6.27	1.41 ± 0.06	1.36	3.44
11-01	106	18.78 ± 1.31	6.98	11.71 ± 1.42	23.64 ± 8.58	1.40 ± 0.13	0.06	0.31
11-15	120	17.15 ± 1.07	6.23	12.46 ± 1.00	26.53 ± 6.02	1.35 ± 0.15	0.44	0.82

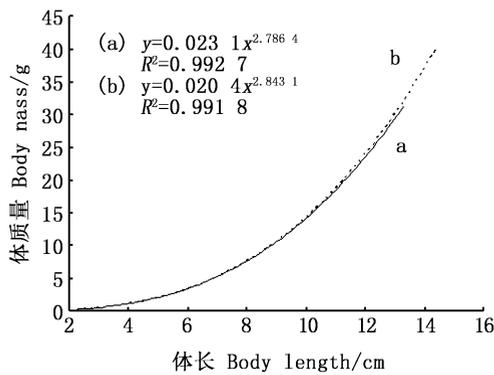


图 2 敞口池塘 (a) 和遮荫池塘 (b)

养殖美洲鲈当年鱼种体长与体质量的关系

Fig. 2 The relations between body length and body mass of young fish *A. sapidissima* cultured in outdoor pond (a) and shaded pond (b)

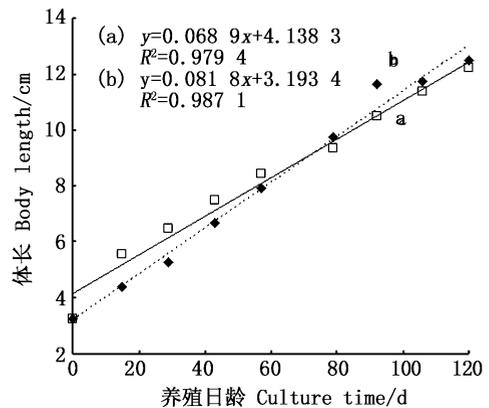


图 3 敞口池塘 (a) 和遮荫池塘 (b)

养殖美洲鲈当年鱼种体长的生长曲线

Fig. 3 Growth curve of body length of young fish *A. sapidissima* cultured in outdoor pond (a) and shaded pond (b)

敞口池塘和遮荫池塘养殖美洲鲈鱼种的体质量随养殖日龄均呈现二次函数关系,方程式分别为 $W=0.0007t^2+0.1060t+0.6070$ (敞口池塘, $R^2>0.97$, $P<0.01$, $n=9$,图4中a)和 $W=0.0013t^2+0.0884t+0.3896$ (遮荫池塘, $R^2>0.97$, $P<0.01$, $n=9$,图中4中b),两方程的曲线相交于61.92 d(9月18日),见图4。

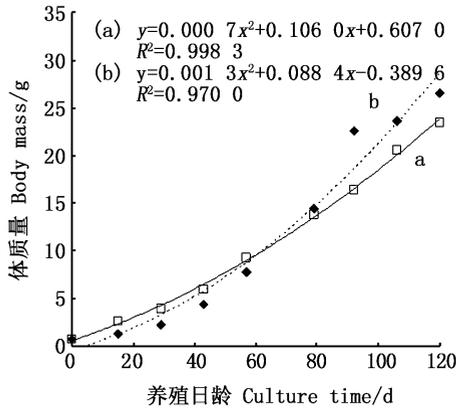
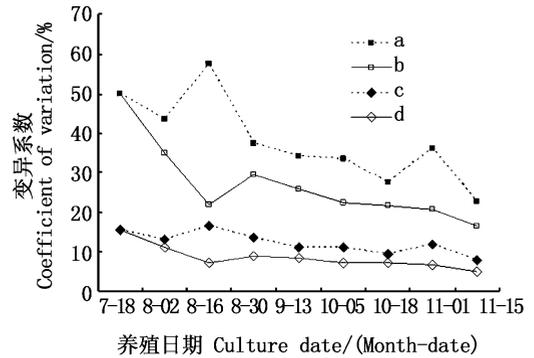


图4 敞口池塘(a)和遮荫池塘(b)养殖美洲鲈当年鱼种体质量的生长曲线
Fig.4 Growth curve of body mass of young fish *A. sapidissima* cultured in outdoor pond (a) and shaded pond (b)

2.4 养殖条件与生长离散

采用配对样本均值 t 检验比较敞口池塘和遮荫池塘各指标的变异系数得出:敞口池塘的水温

变异系数(6.65%)明显高于($P<0.05$)遮荫池塘(4.17%),敞口池塘鱼种体长和体质量的变异系数(分别为7.90%和24.30%)均显著低于($P<0.05$)遮荫池塘(分别为11.97%和36.63%)(表4,图5),说明敞口池塘养殖的美洲鲈当年鱼种相对于遮荫池塘生长离散较小,规格较均匀;敞口池塘鱼种的肥满度变异系数(8.07%)与遮荫池塘的(9.27%)差异不显著($P>0.05$),见表4和图5。



a. 遮荫池塘体质量变异系数; b. 敞口池塘体质量变异系数; c. 遮荫池塘体长变异系数; d. 敞口池塘体长变异系数
a. the body weight of shaded pond; b. the body weight of outdoor pond; c. the body length of shaded pond; d. the body length of outdoor pond

图5 美洲鲈当年鱼种体长和体质量变异系数变化情况
Fig.5 The changes of coefficient of variations of young fish *A. sapidissima* body length and mass

表4 敞口池塘和遮荫池塘养殖美洲鲈当年鱼种的变异系数

Tab.4 Coefficients of variation of young fish *A. sapidissima* cultured in outdoor pond and shaded ponds %

养殖池塘 Culture pond	水温 Water temperature	体长 Body length	体质量 Body mass	肥满度 Condition factor
敞口池塘 Outdoor pond	6.65 ± 1.86 ^a	7.90 ± 1.81 ^a	24.30 ± 5.72 ^a	8.07 ± 1.65 ^a
遮荫池塘 Shaded pond	4.17 ± 2.54 ^b	11.97 ± 2.65 ^b	36.63 ± 10.56 ^b	9.27 ± 3.68 ^a

注:同行中具不同小写字母的值表示差异显著($P<0.05$)

Notes: Mean values within a line followed by different letters were significantly different ($P<0.05$)

3 讨论

3.1 体质量和体长关系

敞口和遮荫池塘养殖的美洲鲈当年(0龄)鱼种体质量和体长关系式($W=aL^b$)中的 b 值接近且略小于3(分别为2.7864和2.8431),说明美洲鲈幼鱼阶段体长生长略快于体质量生长;而池塘养殖1+龄鱼种和工厂化养殖0~3龄鱼的 b 值略大于3(分别为3.2606^[9]和3.0574~3.1113^[1]),说明美洲鲈亚成鱼和成鱼阶段体长

生长略慢于体质量生长,由此也可以推断,在整个生命周期中,养殖美洲鲈幼鱼期体长生长略为优先,而亚成鱼期和成鱼期体质量生长略为优先。这符合黄真理和常剑波^[17]的研究结果:幼鱼阶段 b 值多小于3、成鱼时 b 值接近或者大于3, b 值随体长的增加而增加;若计算样本涵盖所有年龄范围, b 值趋于3^[17]。这理论也在很多鱼类品种上得到证实:如鄱阳湖鲤(*Cyprinus carpio*)、长江青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、四川上游圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、铜鱼(*Coreius heterokon*)

等^[17]。

3.2 一般生长型

鱼类生命周期的周年生长规律大多可采用 Von Bertalanffy 生长方程拟合,且能获得良好效果^[18-19];但是鱼类生长的某一阶段用该方程拟合就不一定适合,如:幼鱼阶段或者生命周期超过2年的鱼类某一年的生长,往往采用幂指数函数^[20-22]、幂函数^[23]、一次线性函数^[21-22]、二次函数^[24]或三次函数^[9]等。养殖美洲鲈生长规律的研究再次证实了上述观点,用 Von Bertalanffy 生长方程能较好地拟合工厂化养殖的美洲鲈周年(0~3龄)生长规律^[1];而在本研究中,敞口和遮荫池塘养殖的美洲鲈当年鱼种(0龄)生长规律就不适合用 Von Bertalanffy 生长方程来拟合,其体长生长采用一次线性函数拟合、体质量生长采用二次函数拟合,均获得良好的效果($R^2 > 0.97$, $P < 0.01$)。

3.3 阶段生长

养殖初期(0~15 d),美洲鲈当年鱼种出现飞跃式生长,体长和体质量的特定生长率分别为 2.02 %/d~3.59 %/d 和 4.30 %/d~8.69 %/d,是由于放养前后美洲鲈幼鱼环境的改变和密度的降低造成的,在室内培育池,鱼苗养殖密度高,对环境和空间的紧迫感强,而放养池塘后,池塘空间大,密度明显下降,原先的紧迫感解除,鱼种在放养初期出现补偿生长。这种补偿生长现象也出现在美洲鲈 1⁺ 龄鱼种由陆基水泥池转入池塘养殖的初期^[9]:美洲鲈在陆基水泥池中越冬养殖,密度大、水体小,其生长均受到抑制,当放入池塘后,养殖环境优越,生长出现补偿现象^[9]。同时,这种现象在其他鱼类中也有发现,如:达氏鳇(*Huso dauricus*)幼鱼放养后 20 d 内的全长和体质量特定生长率均较高,分别为 7.67 %/d~7.88 %/d 和 2.40 %/d~3.29 %/d,处于快速生长阶段^[21];细鳞鱼(*Brachymystax lenok*)稚幼鱼,在养殖试验早期(放苗后的 20 d)鱼苗的体长和体质量特定生长率最高,分别为 1.27 %/d 和 6.97 %/d^[25]。

养殖中期(敞口池塘 16~79 d,遮荫池塘 16~92 d)美洲鲈鱼种处于稳定生长期,美洲鲈当年鱼种进入池塘后,经过 15 d 的适应期,开始适应了池塘的新环境,出现了迅速稳定的生长阶段;同时,不管是敞口池塘还是遮荫池塘,在此期

间两种池塘的水温在 20~30 °C 范围内,适合美洲鲈幼鱼的生长,敞口池塘和遮荫池塘的鱼种体质量特定生长率分别为 1.78 %/d~3.09 %/d 和 2.83 %/d~4.77 %/d。此现象与达氏鳇幼鱼的表现也很相似:幼鱼刚放养后有一个补偿生长,随后处于稳定生长阶段,放养后 21~50 d 内的体质量特定生长率稳定在 1.25%~2.21%^[21]。细鳞鱼稚幼鱼也有类似的现象:刚放养幼鱼出现补偿生长,随后就进入稳定生长阶段,放养后 20~153 d 内的体长和体质量特定生长率分别稳定在 0.85 %/d~0.99 %/d 和 2.48 %/d~2.88 %/d^[25]。

养殖后期(敞口池塘 80~120 d,遮荫池塘 93~120 d),美洲鲈鱼种生长进入缓慢增长阶段,敞口和遮荫池塘的鱼种体质量特定生长率分别为 0.95 %/d~1.59 %/d 和 0.31 %/d~0.82 %/d,这可能与池塘水温的下降(15~20 °C)有关,过低的水温影响了美洲鲈幼鱼摄食,从而降低了幼鱼的生长速度。此现象与细鳞鱼稚幼鱼相似,虽然细鳞鱼是冷水性鱼类,但水温在 7.1~7.8 °C 时,幼鱼的生长明显减缓,放养后 154~336 d 内的体长和体质量特定生长率最低,分别为 0.31 %/d~0.36 %/d 和 1.05 %/d~1.26 %/d^[25]。

3.4 高水温与生长

当外界水温超过了鱼类的适宜范围,鱼类生长将受到抑制,出现生长呆滞或者负生长,特别是水温突破了鱼类能忍受的极限临界值,鱼类生命生理活动紊乱,最终造成死亡^[10, 26]。在江浙一带的盛夏高温季节,敞口养殖池塘的极端高温会突破美洲鲈成鱼的耐受极限,极易造成美洲鲈成鱼大量死亡。因此,美洲鲈成鱼养殖需要遮荫等方法来降温,尽量将水温维持在 30 °C 以下^[1]。然而就算是遮荫池塘条件下,在夏季高温季节养殖美洲鲈 1⁺ 龄亚成鱼生长也明显受到抑制,体长特定生长率出现“U”型变化趋势^[9]。然而,鱼类在不同生长发育阶段对温度的适应能力不是一成不变的^[10-11]:本研究对象美洲鲈成鱼对高温比较敏感,而幼鱼对高温显示出较强的适应能力。高温对池塘养殖的美洲鲈幼鱼生长没有明显的抑制作用:养殖试验初期(0~15 d),敞口池塘和遮荫池塘阶段平均水温均超过 30 °C(分别是 32.92 °C 和 30.30 °C),美洲鲈当年鱼种还是因生活环境的改变和密度的降低出现一个飞跃式生

长,没有出现极限高温对当年鱼种生长不利的现象。另外,在随后鱼种生长稳定后的养殖试验前中期,池塘水温超过或接近 30 °C,美洲鲈当年鱼种也有良好的生长,均处于稳定生长期:敞口池塘阶段平均水温在 30.92 ~ 31.76 °C 时(8 月 2 日—30 日,15 ~ 43 d),鱼种的体长和体质量特定生长率较高,分别为 1.04%/d ~ 1.06%/d 和 2.98%/d ~ 3.01%/d;遮荫池塘阶段平均水温在 29.91 °C 时(8 月 2 日—16 日,15 ~ 29 d),鱼种的体长和体质量特定生长率较高,分别为 1.30%/d 和 3.71%/d。由此可知:美洲鲈幼鱼对高温有良好的适应能力,对高温的耐受力高于其成鱼;在江浙地区的夏季,敞口池塘的水温适合美洲鲈当年鱼种的生长。

3.5 池塘条件与生长

遮荫会给池塘生态环境造成很大影响:遮荫池塘的白天光照强度减弱、水温降低,同时水体中浮游植物的光合作用也随之下落,生长受到明显的抑制,池塘水体自净能力下降,水体透明度也会升高。这一系列的改变也导致了美洲鲈当年鱼种生长受到一定的影响:养殖前期,在 57 d (9 月 13 日)前,敞口池塘的鱼种生长优于遮荫池塘;养殖后期,在 79 d (10 月 5 日)后,则相反。因为敞口池塘受到高强度的太阳光照射,池水中浮游植物大量繁殖,大量浮游植物又催生了浮游动物,而美洲鲈属于滤食性鱼类,能大量摄食浮游动物^[27],特别是刚放养的美洲鲈鱼种,敞口池塘中自繁的浮游动物有效地弥补了人工饲养时有时投饵不足的问题,这可能导致了前期敞口池塘鱼种生长较快的现象;但这也可能导致有些个体较小的鱼种因喜食敞口池塘的浮游动物而不再摄食配合饲料,这种现象一直保持到养殖中后期,随鱼种个体生长,鱼种被迫需要第二次转食配合饲料,这个转食过程需要有一定的过程,生长上要受一定影响^[28]。但在遮荫池塘中,放苗期间水体很清,浮游生物非常少。经过配合饲料驯化的美洲鲈当年鱼种放养后,可以直接摄食配合饲料,但养殖前期鱼种个体较小,池塘水体较大,鱼种摄食浮性配合饲料的能力较弱,生长受到一定影响。随着个体生长,到养殖中后期,鱼种摄取浮性配合饲料的能力明显加强,摄食量也明显上升,个体生长明显优于敞口池塘。

相对于遮荫池塘,敞口池塘鱼种规格均匀整

齐,体长和体质量的变异系数明显较小($P < 0.05$,表 4,图 5),这可能与前面所述的养殖前期敞口池塘中自繁的浮游动物较为丰富有关。在美洲鲈当年鱼种放养初期,虽放养鱼种经过配合饲料的驯化,90% 以上的鱼种能摄食配合饲料,但是毕竟还有一部分鱼种没有摄食配合饲料;这些鱼种在敞口池塘下塘后,若能大量摄取到浮游动物,其生长会得到一定的补偿,个体间的差异就可能得到弥补;而在遮荫池塘中,浮游动物非常少,这部分没驯化的鱼种生长一直较慢,生长可能得不到补偿,造成了个体差异较大。

另外,池塘遮荫造成的生态系统改变会影响池塘水质状况,本研究没有比较敞口池塘和遮荫池塘两者的水质差异,这需要进一步的研究来丰富相关基础数据。

4 小结与建议

敞口池塘和遮荫池塘养殖美洲鲈当年鱼种的体长与体质量关系均呈良好的幂函数增长相关($W = aL^b$), b 值均略小于 3,体长生长略快于体质量生长。养殖初期(0 ~ 15 d),美洲鲈当年鱼种出现飞跃式补偿生长,而后鱼种体长和体质量的特定生长率均随养殖日龄增加而持续下降。敞口池塘和遮荫池塘的鱼种体长和体质量生长均分别可用一次线性函数和二次函数良好拟合。养殖前期,在 57 d (9 月 13 日)前,敞口池塘的鱼种生长优于遮荫池塘;养殖后期,在 79 d (10 月 5 日)后,则相反。相对于遮荫池塘,敞口池塘鱼种规格均匀整齐、个体变异系数较小、饵料系数较低。研究表明:在盛夏高温季节,敞口池塘的水温可以适合美洲鲈当年鱼种生长,美洲鲈幼鱼对高温有良好的适应能力,其高温耐受力高于成鱼。建议在美洲鲈池塘养殖过程中,当年鱼种采用敞口池塘,而成鱼采用遮荫池塘。

参考文献:

- [1] 施永海,徐嘉波,陆根海,等. 养殖美洲鲈的生长特性[J]. 动物学杂志, 2017, 52(4): 638-645.
SHI Y H, XU J B, LU G H, et al. Growth characteristics of cultured American shad *Alosa sapidissima* [J]. Chinese Journal of Zoology, 2017, 52(4): 638-645.
- [2] 张根玉,朱雅珠,张海明,等. 美国鲈鱼人工繁殖技术研究[J]. 水产科技情报, 2008, 35(5): 221-223.
ZHANG G Y, ZHU Y Z, ZHANG H M, et al. Artificial breeding techniques for American shad *Alosa sapidissima*

- [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2008, 35(5): 221-223.
- [3] 徐钢春, 张呈祥, 郑金良, 等. 美洲鲈的人工繁殖及胚胎发育的研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(7): 89-96.
XU G C, ZHANG C X, ZHENG J L, et al. Artificial propagation and embryonic development of American Shad, *Alosa sapidissima*[J]. Marine Sciences, 2012, 36(7): 89-96.
- [4] 缪晓燕, 樊昌杰, 朱爱琴, 等. 美洲鲈工厂化养殖技术初探[J]. 水产科技情报, 2014, 41(4): 176-179.
MIAO X Y, FAN C J, ZHU A Q, et al. A preliminary study on the technology of *Alosa sapidissima* industrial aquaculture [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2014, 41(4): 176-179.
- [5] 游华斌, 张惠芬, 徐钢春, 等. 美洲鲈集约化养殖技术[J]. 科学养鱼, 2012(7): 36-37.
YOU H B, ZHANG H F, XU G C, et al. The technology of *Alosa sapidissima* intensive aquaculture [J]. Scientific Fish Farming, 2012(7): 36-37.
- [6] 潘德博, 洪孝友, 朱新平, 等. 美洲鲈工厂化养殖模式初探[J]. 广东农业科学, 2010, 37(8): 183-184.
PAN D B, XIAO H Y, ZHU X P, et al. A preliminary study on the industrial aquaculture mode of *Alosa sapidissima* [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010, 37(8): 183-184.
- [7] 洪孝友, 陈昆慈, 李凯彬, 等. 水库网箱美洲鲈养殖试验[J]. 水产养殖, 2014(2): 8-9.
HONG X Y, CHEN K C, LI K B, et al. A cage aquaculture experiment of *Alosa sapidissima* in reservoir [J]. Journal of Aquaculture, 2014(2): 8-9.
- [8] 张云龙, 邵辉, 袁娟, 等. 美国鲈鱼高产模式关键技术[J]. 渔业致富指南, 2010(19): 35-36.
ZHANG Y L, SHAO H, YUAN J, et al. The key technology of *Alosa sapidissima* high yield mode [J]. Fishery Guide to be Rich, 2010(19): 35-36.
- [9] 徐嘉波, 税春, 施永海, 等. 池养美洲鲈1+龄鱼种生长特性的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(1): 55-63.
XU J B, SHUI C, SHI Y H, et al. Study of growth characteristics of pond-reared one-year-old *Alosa sapidissima* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(1): 55-63.
- [10] SHI Y H, ZHANG G Y, ZHU Y Z, et al. Effects of photoperiod, temperature, and salinity on growth and survival of obscure puffer *Takifugu obscurus* larvae [J]. Aquaculture, 2010, 309(1/4): 103-108.
- [11] HART P R, HUTCHINSON W G, PURSER G J. Effects of photoperiod, temperature and salinity on hatchery-reared larvae of the greenback flounder (*Rhombosolea tapirina* Günther, 1862) [J]. Aquaculture, 1996, 144(4): 303-311.
- [12] JOHNSON J R, LOESCH J G. Morphology and development of hatchery-cultured American shad, *Alosa sapidissima* (Wilson) [J]. Fishery Bulletin, 1983, 81(2): 323-339.
- [13] 洪孝友, 朱新平, 陈昆慈, 等. 美洲鲈胚胎及仔稚鱼的发育[J]. 水生生物学报, 2011, 35(1): 153-162.
XIAO X Y, ZHU X P, CHEN K C, et al. Study on the development of the embryo and larva of American shad, *Alosa sapidissima* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(1): 153-162.
- [14] 张呈祥, 徐钢春, 徐跑, 等. 美洲鲈仔、稚、幼鱼的形态发育与生长特征[J]. 中国水产科学, 2010, 17(6): 1227-1235.
ZHANG C X, XU G C, XU P, et al. Morphological development and growth of American shad (*Alosa sapidissima*) at larvae, fry and juvenile stages [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(6): 1227-1235.
- [15] 高小强, 洪磊, 刘志峰, 等. 美洲鲈仔稚鱼异速生长模式研究[J]. 水生生物学报, 2015, 39(3): 638-644.
GAO X Q, HONG L, LIU Z F, et al. The study of allometric growth pattern of American shad larvae and juvenile (*Alosa sapidissima*) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(3): 638-644.
- [16] 刘青华, 郑玉红, 孟涵, 等. 工厂化循环水养殖条件下美洲鲈鱼幼鱼的生长特性[J]. 河北渔业, 2017, 287(11): 1-3, 21.
LIU Q H, ZHENG Y H, MENG H, et al. Growth characteristics of young fish *Alosa sapidissima* cultured in the recirculating and intensive aquaculture system [J]. Hebei Fisheries, 2017, 287(11): 1-3, 21.
- [17] 黄真理, 常剑波. 鱼类体长与体重关系中的分形特征[J]. 水生生物学报, 1999, 23(4): 330-336.
HUANG Z L, CHANG J B. Fractal characteristics of length-weight relationship in fish [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(4): 330-336.
- [18] 殷名称. 鱼类生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 57-61.
YIN M C. Fish ecology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 57-61.
- [19] VON BERTALANFFY L. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II) [J]. Human Biology, 1938, 10(2): 181-213.
- [20] 陆小茜, 陆文杰, 郑光明, 等. 鱼类生长的幂指数生长方程[J]. 水产学报, 2002, 26(3): 281-284.
LU X D, LU W J, ZHENG G M, et al. Power-exponential growth equation of fish growth [J]. Journal of Fisheries of China, 2002, 26(3): 281-284.
- [21] 李文龙, 韩英, 石振广, 等. 达氏鳇稚幼鱼生长特性的研究[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(2): 125-128.
LI W L, HAN Y, SHI Z G, et al. The growth characteristics in juvenile Siberian huso sturgeon *Huso dauricus* [J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2012, 27(2): 125-128.
- [22] 谢永德, 施永海, 张海明, 等. 菊黄东方鲀1龄幼鱼生长特性[J]. 广东海洋大学学报, 2013, 33(6): 9-13.
XIE Y D, SHI Y H, ZHANG H M, et al. Study on growth

- characteristics of one-year-old *Takifugu flavidus* under artificial culturing condition[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2013, 33(6): 9-13.
- [23] 邓国成, 谢刚, 胡隐昌, 等. 池养倒刺鲃仔幼鱼生长特性的初步研究[J]. 大连水产学院学报, 2012, 20(3): 254-256.
- DENG G C, XIE G, HU Y C, et al. Growth performance of larva and early fry of *Spinibarbus denticulatus* in ponds[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2012, 20(3): 254-256.
- [24] 严银龙, 汪洋, 施永海. 全人工繁育刀鲚幼鱼的摄食和生长特性[J]. 水产科技情报, 2016, 43(4): 169-173.
- YAN Y L, WANG Y, SHI Y H. Feeding and growth characteristics of young fish *Coilia nasus* from completely artificial breeding [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2016, 43(4): 169-173.
- [25] 王兴兵, 魏洪祥, 宣明春, 等. 细鳞鱼稚、幼鱼在流水池塘中的生长特性[J]. 水产学杂志, 2016, 29(6): 6-9.
- WANG X B, WEI H X, XUAN M C, et al. Growth traits of juvenile lenok *Brachymystax lenok* cultured in a flowing tank [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2016, 29(6): 6-9.
- [26] 陈全震, 曾江宁, 高爱根, 等. 鱼类热忍耐温度研究进展[J]. 水产学报, 2004, 28(5): 562-567.
- CHEN Q Z, ZENG J N, GAO A G, et al. Advances in study of temperature of thermal tolerance of fishes [J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(5): 562-567.
- [27] 杜浩. 美洲鲈(*Alosa sapidissima*)人工孵化、养殖及转运关键技术的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005: 15-22.
- DU H. Studies on key techniques in incubation, culture and transportation of American shad *Alosa sapidissima* [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005: 15-22.
- [28] 施永海, 谢永德, 刘永士, 等. 菊黄东方鲈幼鱼转食过程中生长和脂肪酸组成变化[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(1): 48-56.
- SHI Y H, XIE Y D, LIU Y S, et al. The changes in growth and fatty acid composition of tawny puffer (*Takifugu flavidus*) juvenile during the bait conversion period [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2017, 26(1): 48-56.

Growth regularity and difference of young fish American shad *Alosa sapidissima* cultured in outdoor and shaded ponds

SHI Yonghai, XU Jiabo, LIU Yongshi, DENG Pingping, XIE Yongde, ZHANG Haiming, YAN Yinlong
(Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai Fisheries Technical Extension Station, Shanghai 200433, China)

Abstract: The American shad (*Alosa sapidissima*) is an anadromous fish species with ecological importance along the east coast of North America. At present, it has a potential for aquaculture in China because of its commercial importance and high market value. To evaluate and compare the growth regularity and difference of young fish *A. sapidissima* cultured in outdoor and shaded ponds, the standard length and body mass of young fish *A. sapidissima* ($n = 600$) cultured in outdoor and shaded ponds were measured. The results showed: The relationship of body length and mass of young fish cultured in outdoor and shaded ponds could be described by the power function ($W = aL^b$, $R^2 > 0.99$, $P < 0.01$, $n = 300$), the values b were close to and slightly less than 3 (2.786 4 and 2.843 1, respectively), and the body length grew slightly faster than the body mass. A leap-style compensatory growth reaction was found in young fish at the beginning of the culture experiment (0–15 d), and then the body length and mass specific growth rates (SGR) of young fish steadily declined with increasing culture time. The relationships between the body length of young fish cultured in outdoor and shaded ponds and culture time could be described by the linear function ($L = at + b$, $R^2 > 0.97$, $P < 0.01$, $n = 9$), the intersection point of two straight lines appeared at 73.25 d (September 29); Nevertheless, the relationships between the body mass and culture time could be described by the quadratic function ($W = at^2 + bt + c$, $R^2 > 0.97$, $P < 0.01$, $n = 9$), the intersection point of two curves appeared at 61.92 d (September 18); at the earlier stage of culture experiment, before 57 d (September 13), young fish of outdoor pond grew faster than shaded pond; at the later stage, after 79 d (October 5), the reverse is true. The food coefficient of outdoor pond (1.22) was lower than that of shaded pond (2.04). The coefficient of variations of young fish body length and mass in outdoor pond was smaller than that of shaded pond. Therefore, the adaptive capacity for high temperature of young fish *A. sapidissima* is better than adult fish. It is suggested that: the young fish *A. sapidissima* should be cultured in outdoor pond, and then adult fish should be cultured in shaded pond.

Key words: *Alosa sapidissima*; young fish; growth; outdoor pond; shaded pond