

养殖美洲鲈的生长特性

施永海 徐嘉波 陆根海 张海明 严银龙 谢永德 税春

上海市水产研究所, 上海市水产技术推广站 上海 200433

摘要: 通过对各周年生长阶段的养殖美洲鲈 (*Alosa sapidissima*) 体长、体重的测量与分析, 研究了工厂化养殖美洲鲈的周年生长特性。养殖美洲鲈雌雄鱼的体长与体重关系均呈幂函数增长相关, 其方程分别为, 雌: $W = 0.8062 \times 10^{-5} L^{3.1113}$ ($n = 122, R^2 = 0.9975, P < 0.01$); 雄: $W = 1.0047 \times 10^{-5} L^{3.0574}$ ($n = 125, R^2 = 0.9975, P < 0.01$), b 均接近于 3, 呈等速生长; 雌雄鱼生长均可分快速生长期 (0^+ 龄)、稳定生长期 (1^+ 龄)、生长衰老期 (2^+ 龄) 三个时期, 雌鱼生长快于雄鱼。拟合出 von Bertalanffy 生长方程, 雌: $L_t = 467.92 (1 - e^{-0.5748(t+0.1710)})$, $W_t = 1637.72 (1 - e^{-0.5748(t+0.1710)})^{3.1113}$; 雄: $L_t = 389.21 (1 - e^{-0.7374(t+0.1975)})$, $W_t = 834.08 (1 - e^{-0.7374(t+0.1975)})^{3.0574}$ 。雌雄鱼体重生长拐点分别位于 1.5178 a 和 1.2247 a, 属性成熟拐点, 拐点前生长较快; 拐点后, 特别是性成熟后 (2^+ 龄), 2^+ 龄鱼的生长速度明显降低; 同时, 2^+ 龄鱼繁殖季节过后会出现大量死亡。建议商业化工厂化养殖美洲鲈以 2^+ 龄前上市为宜。

关键词: 美洲鲈; 工厂化养殖; 生长

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 04-638-08

Growth Characteristics of Cultured American Shad *Alosa sapidissima*

SHI Yong-Hai XU Jia-Bo LU Geng-Hai ZHANG Hai-Ming YAN Yin-Long
XIE Yong-De SHUI Chun

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 on the east coast of North America. At present, it has a potential for aquaculture in China due to its commercial importance and high market value. To evaluate and determine growth characteristics of *A. sapidissima*, we measured the standard length and body weight of industrially cultured *A. sapidissima* ($n = 217$) (the basic culture conditions were shown in Table 1). The results showed: The relationships between body length and weight could be described by the power function: $W = 0.8062 \times 10^{-5} L^{3.1113}$ ($n = 122, R^2 = 0.9975, P < 0.01$) for female (♀); $W = 1.0047 \times 10^{-5} L^{3.0574}$ ($n = 125, R^2 = 0.9975, P < 0.01$) for male (♂) (Fig. 1), those values b all were closed to 3, this means an isometric growth; There were three stages in the growth of female and male (Table 2): Fast growth stage (0^+ age), the specific growth rates of body length (S_L) and

基金项目 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2014)第7-1-9号], 上海市科学技术委员会重点攻关项目(No. 16391900400), 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项目(No. 13DZ2251800);

第一作者简介 施永海, 男, 教授级高级工程师; 研究方向: 水产繁育、养殖技术研究及水环境监测; E-mail: yonghais@163.com。

收稿日期: 2016-09-15, 修回日期: 2017-02-09 DOI: 10.13859/j.cjz.201704011

body weight (S_w) were 63.54%/a - 165.49%/a and 512.37%/a - 519.15%/a, respectively; Steady growth stage (1^+ age), the S_L and S_w were 44.85%/a - 48.05%/a and 110.15%/a - 126.48%/a, respectively; Aging growth stage (2^+ age), the S_L and S_w were 4.13%/a - 10.29%/a and 32.16%/a - 61.30%/a, respectively. The condition factors of 0-age and 2-age fish were significantly lower ($P < 0.05$) than that of 1-age and 3-age fish (Table 2). From the beginning of 2-age, the condition factors of female were significantly higher ($P < 0.05$) than that of male (Table 2). The females grew faster than the males. The growth of intensively cultured *A. sapidissima* was in a constant speed which can be described with von Bertalanffy equation: $L_t = 467.92 (1 - e^{-0.5748 (t + 0.1710)})$ (♀), $L_t = 389.21 (1 - e^{-0.7374 (t + 0.1975)})$ (♂) (Fig. 2); $W_t = 1637.72 (1 - e^{-0.5748 (t + 0.1710)})^{3.1113}$ (♀), $W_t = 834.08 (1 - e^{-0.7374 (t + 0.7189)})^{3.0574}$ (♂) (Fig. 3). According to the growth, the body length growth rate equations of female and male were $dL/dt = 268.96 e^{-0.5748 (t + 0.1710)}$ (♀), and $dL/dt = 287.00 e^{-0.7374 (t + 0.1975)}$ (♂), respectively (Fig. 4); the body weight growth rate equations of female and male were $dW/dt = 2928.86 e^{-0.5748 (t + 0.1710)} (1 - e^{-0.5748 (t + 0.1710)})^{2.1113}$ (♀), and $dW/dt = 1880.46 e^{-0.7374 (t + 0.1975)} (1 - e^{-0.7374 (t + 0.1975)})^{2.0574}$ (♂), respectively (Fig. 5); the acceleration growth rate equations for body weight of female and male were $d^2W/dt^2 = 1683.51 e^{-0.5748 (t + 0.1710)} (1 - e^{-0.5748 (t + 0.1710)})^{1.1113} (3.1113 e^{-0.5748 (t + 0.1710)} - 1)$ (♀), and $d^2W/dt^2 = 1386.65 e^{-0.7374 (t + 0.1975)} (1 - e^{-0.7374 (t + 0.1975)})^{1.0574} (3.0574 e^{-0.7374 (t + 0.1975)} - 1)$ (♂), respectively (Fig. 6). The inflection points on body weight growth curve of female and male were 1.517 8 a and 1.224 7 a, respectively (Fig. 6); They belonged to the inflection points of sexual maturity. Before inflection point, growth was faster; After inflection point, especially after sexual maturity (2^+ age), the growth rate of the 2^+ age fish was decreased obviously; Meanwhile, after the breeding season, the 2-age fish die largely. Therefore, 2-age *A. sapidissima* should be sold in the commercialization industrial aquaculture.

Key words: American Shad, *Alosa sapidissima*; Intensive culture; Growth

美洲鲈 (*Alosa sapidissima*) 隶属于鲱形总目 (Clupeomorpha) 鲱形目 (Clupeiformes) 鲱科 (Clupeidae) 西鲱属, 主要分布于北美洲大西洋西岸从加拿大魁北克省到美国佛罗里达州的河流和海洋中。美洲鲈系生殖洄游性鱼类, 肉鲜味美, 丰腴肥硕, 具很高的经济价值。由于该鱼适合池塘养殖和工厂化养殖, 被世界各地广泛引种 (张根玉等 2008, 徐钢春等 2012)。在国内, 美洲鲈因与中国鲈 (*Tenualosa reevesii*) 的外形相似、肉质相媲美, 在中国鲈濒临灭绝的情况下, 于 1998 年, 上海市水产研究所率先从美国引进美洲鲈受精卵进行人工育苗和试养。于 2003 年开始, 上海市水产研究所和另外几家单位大批量引进美洲鲈受精卵进行苗种培育和人工养殖。近年来, 国内美洲鲈养殖面积日益扩大, 养殖模式有工厂化养殖、池塘养殖、网箱养殖三种, 目前养殖户采用最多的模式是

工厂化养殖 (张云龙等 2010, 徐纪萍等 2011, 洪孝友等 2014)。但美洲鲈养殖还存在一些问题, 如养殖到第 3 年春季, 成鱼往往会出现大量死亡, 大多为腹部膨胀而死, 这给养殖户造成巨大损失 (刘青华等 2006)。因此, 了解并掌握美洲鲈的生长特性, 有助于指导其养殖生产, 提高商品鱼的出成率和养殖经济效益。近年来, 国内外有关美洲鲈养殖生态学的研究虽有涉及该鱼仔稚幼鱼的生长发育 (Johnson et al. 1983, Leach et al. 1999, 杨坤等 2008, 张呈祥等 2010, 洪孝友等 2011, 高小强等 2015), 但均未涉及美洲鲈周年生长特性。本文研究了工厂化养殖环境下美洲鲈的周年生长特性, 以期为其人工养殖提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

养殖实验在上海市水产研究所奉贤基地（地处杭州湾北部沿岸）简易陆基养殖池中进行，养殖水泥池（长 20 m × 宽 11 m × 高 1.6 m），上口采用蔬菜大棚结构；春秋季采用塑料薄膜和遮荫膜互相补充调光调温，尽可能把水温调至美洲鲈的适宜温度范围内（22 ~ 28℃）；夏季，两侧开口通风，撤除塑料薄膜，遮盖双层 70% 遮荫膜调光调温，水温保持 30℃ 以下；冬季，越冬养殖时用塑料薄膜覆盖并密封大棚，水温保持 9℃ 以上。

实验用苗种为全人工集约化繁育的美洲鲈苗种。实验用水为当地河口水，使用前经过池塘和蓄水池沉淀、曝气、60 目筛绢网过滤。

1.2 日常管理

水质管理：春秋季每 7 d 换水 1 次，每次换掉池水的 2/3，每 14 d 原池倒池 1 次；夏季每 5 d 换水 1 次，每次换掉池水的 2/3，每 10 d 原池倒池 1 次，但在盛夏高温天气时，特别是当外源水水温超过 30℃，减少换水量，每次换水 1/3，尽量避免拉网倒池的操作；冬季，每 10 d 换水 1 次，每次 2/3，每 30 d 原池倒池 1 次。实验期间，采用罗茨鼓风机连续充气，气石的密度为 0.25 个/m²，水温 9 ~ 30℃，盐度 2 ~ 6，pH 8.2 ~ 8.5，溶解氧 5.0 ~ 6.5 mg/L。实验期间按常规投喂含粗蛋白为 40% 的海水鱼膨化饲料（浙江明辉饲料有限公司），每天 9:00 和 14:00 时分别投喂 1 次，投喂量以当年鱼种 2 h 摄食完为准，第二年开始以投喂后 0.5 h 摄食完

为准；每天定时观察鱼摄食、活动等情况。养殖基本情况见表 1。

1.3 取样与数据分析方法

由于养殖美洲鲈产卵期为 5 ~ 6 月份，设定繁育季节 6 月份为生长零月龄，即出生月份，一般年轮形成在 5 ~ 8 月，本文年龄划分以 7 月份为界，即 0 龄鱼是 1 月龄的秋季个体，0⁺ 龄鱼是指次年 6 月份前的个体；1 龄鱼指 1 周年的个体，1⁺ 龄鱼是指经 1 周年生长且尚未进入春季繁殖期的个体；2 龄鱼指 2 周年的个体，2⁺ 龄鱼是指经 2 周年生长且尚未进入春季繁殖期的个体；3 龄鱼指 3 周年的个体。

取 0、1、2 和 3 龄的雌、雄鱼分别做样品。0 龄的鱼在 7 月份取样，由于难以分辨雌雄，统一取样 30 尾；其他年龄的鱼在 6 月份取样，每次取样雌雄鱼各 30 尾左右，1 龄鱼采用解剖观察性腺方式区分雌雄，2 和 3 龄的鱼根据外形区分雌雄；分别用卡尺（中国上量 0 ~ 500 mm，精度 0.01 mm）和电子天平（瑞士 METTLER TOLEDO PL202-L，精度 0.01 g）测量记录鱼体长和体重。

所有数据用平均值 ± 标准差（Mean ± SD）表示，采用 Excel 和 SPSS 12.0 处理数据及图表。用 Oneway ANOVA 对各周年的生长及肥满度进行方差分析，Duncan 检验进行多重比较，以 $P < 0.05$ 为差异显著；用独立样本 t 检验比较雌雄鱼之间的生长及肥满度，以 $P < 0.05$ 为差异显著；用配对样本 t 检验比较实测值与

表 1 美洲鲈养殖基本情况

Table 1 The basic culture conditions of *Alosa sapidissima*

年龄 Age (a)	体长 Body length (mm)	体重 Body weight (g)	养殖密度 Breeding density (ind/m ²)	饲料型号 Feed model	饲料直径 Feed diameter (mm)
0 ⁺ (0.08 ~ 0.33)	40 ~ 90	0.88 ~ 12	18 ~ 22	0	1.8
0 ⁺ (0.33 ~ 0.75)	90 ~ 170	10 ~ 80	18 ~ 22	1	2.2 ~ 2.6
0 ⁺ (0.75 ~ 1.00)	160 ~ 210	60 ~ 135	8 ~ 10	2	3.3 ~ 3.8
1 ⁺ (1.00 ~ 1.50)	210 ~ 275	135 ~ 300	5 ~ 8	3	5.0 ~ 5.5
1 ⁺ (1.50 ~ 2.00)	275 ~ 340	300 ~ 500	4 ~ 6	3	5.0 ~ 5.5
2 ⁺ (2.00 ~ 3.00)	340 ~ 365	500 ~ 800	2 ~ 4	3	5.0 ~ 5.5
3 (3.00 ~ 3.16)	360 ~ 370	700 ~ 1 000	2 ~ 4	3	5.0 ~ 5.5

理论值, 以 $P > 0.05$ 为无显著差异; 建立回归曲线 ($P < 0.01$), 拟合出 von Bertalanffy 生长方程生长参数。

数据分析所用公式: 体长与体重关系 $W = aL^b$; 肥满度 (condition factor, C) $C = (W/L^3) \times 10^5$; von Bertalanffy 生长方程 (von Bertalanffy's growth equation) (von Bertalanffy 1938) $L_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$, $W_t = W_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})^b$, $t_r = \ln b/k + t_0$; 体长特定生长率 (body length specific growth rate, S_L) $S_L = (\ln L_2 - \ln L_1) / (t_2 - t_1) \times 100$; 体重特定生长率 (body weight specific growth rate, S_w) $S_w = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1) \times 100$; 式中, L 是体长 (mm), W 是体重 (g), L_∞ 、 W_∞ 分别是渐近体长和渐近体重, t 是年龄 (a), t_0 是理论生长起点年龄 (a), t_r 是生长拐点年龄 (a), k 是生长系数, a 、 b 都是常数。

2 结果与分析

2.1 生长基本情况

工厂化养殖美洲鲟雌雄鱼的周年生长均呈明显的阶段性 (表 2)。0⁺龄为快速生长期: 雌雄鱼的体长、体重特定生长率均最高, 分别为 163.54%/a ~ 165.49%/a 和 512.37%/a ~ 519.15%/a; 1⁺龄为稳定生长期: 体长、体重特定生长率分别为 44.85%/a ~ 48.05%/a 和 110.15%/a ~ 126.48%/a; 2⁺龄生长衰老期: 雌雄鱼的体长、体重特定生长率最低, 分别为 4.13%/a ~ 10.29%/a 和 32.16%/a ~ 61.30%/a。美洲鲟雌、雄鱼的周年体长和体重均呈现显著增长 ($P < 0.05$) (表 2)。

1 龄的雌鱼个体比雄鱼略大, 但没有明显差异 ($P > 0.05$), 但 2 龄开始, 雌鱼的体长和体重均明显比雄鱼的大 ($P < 0.05$)。从养殖全程来看, 雌鱼每个周年生长阶段的体长、体重特定生长率均较雄鱼要高, 说明雌鱼生长快于雄鱼 (表 2)。

2.2 肥满度

工厂化养殖美洲鲟雌雄肥满度随生长均呈

现显著的周年变化 ($P < 0.05$), 0 龄和 2 龄鱼的肥满度比 1 龄和 3 龄鱼的显著低 ($P < 0.05$); 从 2 龄开始, 养殖美洲鲟雌鱼的肥满度显著高于雄鱼 ($P < 0.05$) (表 2)。

2.3 体长与体重关系

工厂化养殖美洲鲟雌雄鱼的体长与体重均呈幂函数增长相关 ($W = aL^b$), 雌: $W = 0.8062 \times 10^{-5} L^{3.1113}$ ($n = 122$, $R^2 = 0.9975$, $P < 0.01$); 雄: $W = 1.0047 \times 10^{-5} L^{3.0574}$ ($n = 125$, $R^2 = 0.9975$, $P < 0.01$) (图 1), b 均接近 3, 美洲鲟雌雄鱼均呈等速生长, 即体长和体重接近匀速生长。

2.4 一般生长型

采用 Walford 作图法处理表 2 中的平均体长计算得渐近体长 L_∞ , 依据各体长和体重关系式推算出渐近体重 W_∞ ; 依据方程式 $\ln(L_\infty - L_t) = -k t + \ln L_\infty + k t_0$ 先求得生长系数 k 值, 然后令此公式中的 $t = 0$, 求得理论体长等于零时的年龄 t_0 , 拟合出工厂化养殖美洲鲟雌雄鱼的 von Bertalanffy 生长方程生长。

雌: $L_t = 467.92 (1 - e^{-0.5748(t+0.1710)})$ (图 2), $W_t = 1637.72 (1 - e^{-0.5748(t+0.1710)})^{3.1113}$ (图 3);

雄: $L_t = 389.21 (1 - e^{-0.7374(t+0.1975)})$ (图 2), $W_t = 834.08 (1 - e^{-0.7374(t+0.1975)})^{3.0574}$ (图 3)。

工厂化养殖美洲鲟雌雄鱼的体长生长曲线开始生长较快, 随着年龄的增加, 逐渐趋向体长渐近值 L_∞ ; 而其体重生长曲线则为一条具有拐点 (t_r) 不对称、趋向渐近值 W_∞ 向左的 S 型曲线。由其体长和体重生长方程计算出各周年生长的理论值, 与对应的测量值之间经配对样本 t 检验均无显著性差异 ($P > 0.05$), 表明拟合出的 von Bertalanffy 生长方程能较好地体现美洲鲟雌雄鱼的生长规律 (图 2, 3)。另外, von Bertalanffy 生长方程中, 养殖美洲鲟雌鱼理论最大体长和体重 (467.92 mm 和 1 637.72 g) 明显比雄鱼的 (389.21 mm 和 834.08 g) 大, 再次侧面印证了雌鱼生长快于雄鱼。

2.5 生长速度和加速度

表 2 养殖美洲鲈的阶段生长

Table 2 Phase growth of cultured *Alosa sapidissima* (n = 30)

年龄 Age (a)	体长 Body length (mm)	体重 Body weight (g)	体长特定生长率 Body length specific growth rate (%/a)	体重特定生长率 Body weight specific growth rate (%/a)	肥满度 Condition factor (%)
0	41.29 ± 4.06 ^a	0.88 ± 0.28 ^a			1.22 ± 0.15 ^a
1	♀ 216.07 ± 15.56 ^{bA}	158.88 ± 37.69 ^{bA}	165.49	519.15	1.55 ± 0.12 ^{cA}
	♂ 211.90 ± 11.83 ^{bA}	148.46 ± 24.56 ^{bA}	163.54	512.37	1.55 ± 0.11 ^{cA}
2	♀ 349.35 ± 19.57 ^{cA}	562.82 ± 74.97 ^{cA}	48.05	126.48	1.32 ± 0.13 ^{bA}
	♂ 331.84 ± 11.99 ^{cB}	446.66 ± 44.97 ^{cB}	44.85	110.15	1.22 ± 0.11 ^{aB}
3	♀ 387.20 ± 13.50 ^{dA}	1 038.91 ± 137.64 ^{dA}	10.29	61.30	1.78 ± 0.13 ^{dA}
	♂ 345.83 ± 19.92 ^{dB}	616.07 ± 121.52 ^{dB}	4.13	32.16	1.47 ± 0.10 ^{bB}

表中同列数据标注不同小写字母，表示同一性别不同年龄间存在显著差异 (P < 0.05)；同列数据标注不同大写字母，表示同一年龄不同性别之间存在显著差异 (P < 0.05)。

Mean values within a line followed by different lowercases were significantly different (P < 0.05) at different age in the same sex; Mean values within a line followed by different capitals were significantly different (P < 0.05) at different sex in the same age.

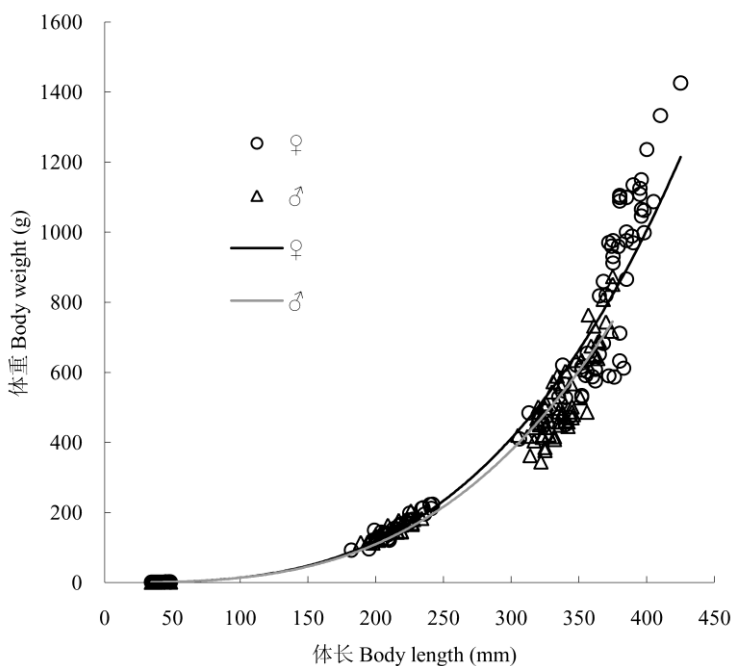


图 1 养殖美洲鲈的体长与体重关系

Fig. 1 The relation between body length and body weight of *Alosa sapidissima*

对体长、体重生长方程求一阶导数，可得体长、体重生长速度方程（图 4，5）。

雌：dL/dt = 268.96 e^{-0.5748(t+0.1710)}, dW/dt = 2928.86 e^{-0.5748(t+0.1710)} (1 - e^{-0.5748(t+0.1710)})^{2.1113};

雄：dL/dt = 287.00 e^{-0.7374(t+0.1975)}, dW/dt =

1880.46 e^{-0.7374(t+0.1975)} (1 - e^{-0.7374(t+0.1975)})^{2.0574}。

再对体重生长方程求二阶导数，可得体重生长加速度方程（图 6）。

雌：d²W/dt² = 1683.51 e^{-0.5748(t+0.1710)} (1 - e^{-0.5748(t+0.1710)})^{1.1113} (3.1113 e^{-0.5748(t+0.1710)} - 1),

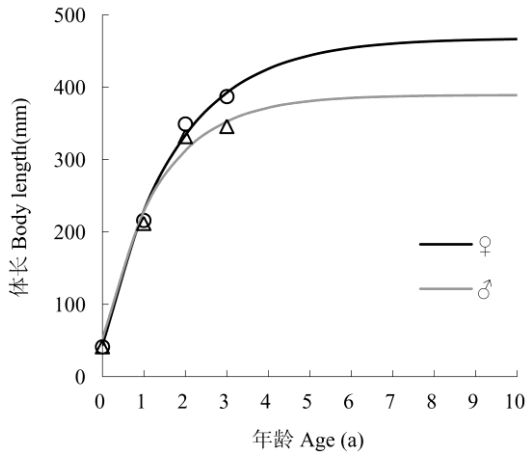


图 2 养殖美洲鲈体长生长曲线

Fig. 2 Growth curve of body length of cultured *Alosa sapidissima*

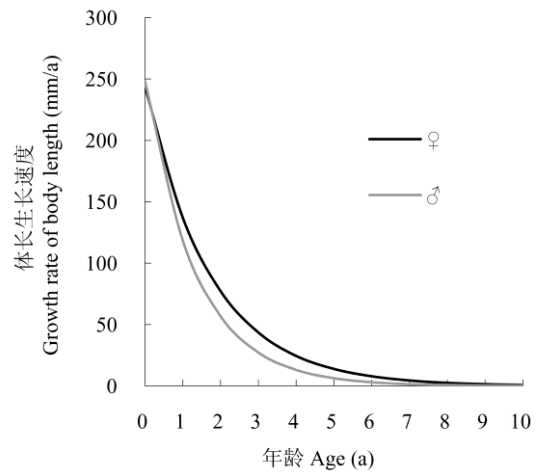


图 4 养殖美洲鲈体长生长速度曲线

Fig. 4 Growth rate curve of body length of cultured *Alosa sapidissima*

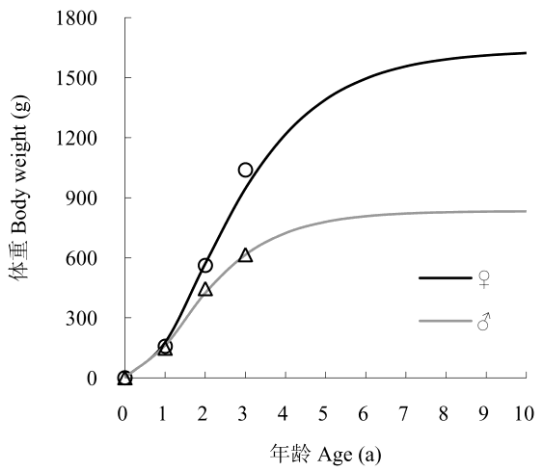


图 3 养殖美洲鲈体重生长曲线

Fig. 3 Growth curve of body weight of cultured *Alosa sapidissima*

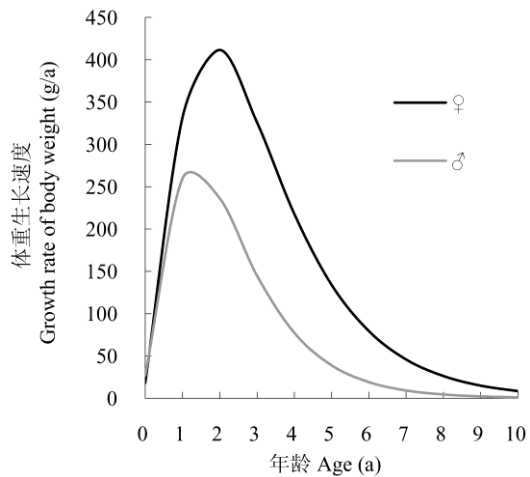


图 5 养殖美洲鲈体重生长速度曲线

Fig. 5 Growth rate curve of body weight of cultured *Alosa sapidissima*

$t_r = 1.5178 \text{ a}$;

雄: $d^2W/dt^2 = 1386.65 e^{-0.7374(t+0.1975)} (1 - e^{-0.7374(t+0.1975)})^{1.0574} (3.0574 e^{-0.7374(t+0.1975)} - 1)$,
 $t_r = 1.2247 \text{ a}$ 。

工厂化养殖美洲鲈雌雄鱼的体长生长速度均随年龄的增加而递减,并逐渐趋向于零(图4);雌雄鱼的体重生长拐点 t_r 分别位于 1.5178 a 和 1.2247 a, 养殖美洲鲈性成熟年龄为 2 龄, 因此拐点发生在性成熟前, 含有成熟拐点的生物学意义, 体重生长曲线变化特点是由慢到快经

拐点后再变慢: 当年龄 $t < t_r$ 时, 雌雄鱼的体重生长速度曲线上升, 但体重生长加速度曲线却下降且位于年龄 t 轴上方, 为正值, 表明在年龄 t_r 以前, 是其体重生长速度的递增阶段, 但递增速度逐渐下降; 当日龄 $t > t_r$ 时, 体重生长速度曲线下降, 而体重生长加速度曲线则位于年龄 t 轴下方, 为负值, 表明在年龄 t_r 以后, 是其体重生长速度的递减阶段, 进入生长缓慢期(图5、图6)。

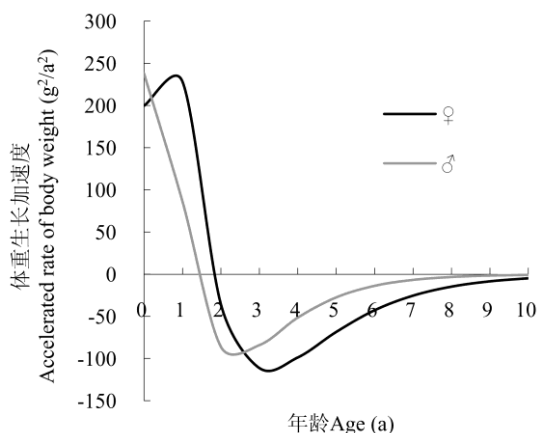


图 6 养殖美洲鲈体重生长加速度曲线

Fig. 6 The acceleration rate curve of body weight of cultured *Alosa sapidissima*

3 讨论

3.1 养殖与野生美洲鲈生长的差异

美洲鲈野生群体中, 曾有研究发现最大的个体体长为 760 mm、体重为 6 800 g, 年龄 10 ~ 11 龄 (杜浩 2005)。本研究中, 养殖美洲鲈理论最大体长 L_{∞} 为 467.92 mm (♀) 和 389.21 mm (♂), 体重 W_{∞} 为 1 637.72 g (♀) 和 834.08 g (♂); 同时, 3 龄鱼进入夏季后成活率非常低, 几乎全部死亡。目前, 从国内美洲鲈 10 多年的养殖经验数据来看, 养殖美洲鲈能达到的最大年龄仅为 3 ~ 4 龄。其原因可能是, 养殖美洲鲈性成熟较早 (2 龄) 且繁育群体成活率极低。在养殖环境下, 因水温适宜、饵料充足, 美洲鲈营养积累较好, 性腺提早成熟。养殖美洲鲈 2 龄性成熟后 (徐钢春等 2012), 在春夏之交的繁殖季节, 夜间成熟雄鱼追逐雌鱼交配繁殖; 由于养殖环境的活动空间较小, 特别是工厂化养殖条件下, 剧烈的追逐交配过程极易碰擦水泥池池壁及池底, 导致鱼体表鳞片的脱落, 伤口感染后生病死亡 (刘青华等 2006); 在实际的繁养过程中, 也时常有发现繁殖交配后的雌雄鱼体表出血, 由于刚参与繁育的雌雄亲鱼体质虚弱, 极易继发感染霉菌而死; 而那些幸存下来的 2 龄美洲鲈再养殖 1 年后, 经过第 2 次

繁育, 几乎全部死亡。然而, 在自然生境下, 野生美洲鲈初次性成熟年龄为 3 龄 (杜浩 2005); 而且, 野生美洲鲈繁育交配的环境活动空间较大, 追逐交配的过程不易擦伤, 美洲鲈繁育群体的成活率相对较高, 这可能导致了野生群体的总体寿命较长, 相应的个体也会较大。

虽然美洲鲈在养殖环境下的理论最大个体远不及野生环境下发现的最大个体, 但是, 2 龄养殖美洲鲈个体 (体长 ♀ 349.35 mm、♂ 331.84 mm) 明显大于同龄野生个体 (全长 320 mm) (杜浩 2005), 到 3 龄的养殖美洲鲈个体 (体长 ♀ 387.20 mm、♂ 345.83 mm) 与野生个体 (全长 400 mm) (杜浩 2005) 相近。这说明在 2 龄前, 养殖美洲鲈生长速度快于野生个体; 性成熟后, 2+ 龄养殖美洲鲈的生长速度明显降低, 生长速度开始慢于野生个体。

另外, 本研究中, 养殖美洲鲈所有生长指标的监测结果均显示, 雌鱼生长明显快于雄鱼, 特别是 2 龄鱼开始, 雌鱼个体明显比雄鱼大, 这结果与曹祥德等 (2016) 对人工培育美洲鲈亲本雌大雄小的研究结果相似, 雌鱼全长 (45.2 ± 1.4) cm、体重 (1 042.9 ± 67.3) g ($n = 80$), 雄鱼全长 (42.0 ± 1.0) cm、体重 (820.8 ± 45.6) g ($n = 120$)。

3.2 养殖美洲鲈与养殖中国鲈生长的差异

工厂化养殖美洲鲈的理论最大体长 L_{∞} (467.92 mm ♀; 389.21 mm ♂)、最大体重 W_{∞} (1 637.72 g ♀; 834.08 g ♂)、生长拐点年龄 t_r (1.517 8 a ♀; 1.224 7 a ♂), 而池塘养殖中国鲈的理论最大体长 L_{∞} (518.95 mm)、最大体重 W_{∞} (2 205.5 g)、生长拐点年龄 t_r (2.805 3 a) (王汉平等 1995)。虽然从这些 von Bertalanffy 方程的理论数据来看, 工厂化养殖美洲鲈相对于池塘养殖中国鲈, 理论最大个体较小, 生长拐点年龄较早, 说明养殖美洲鲈相对于池塘养殖中国鲈的生长潜力较差; 但是, 2 龄的养殖美洲鲈个体 (体长 ♀ 349.35 mm、♂ 331.84 mm; 体重 ♀ 562.82 g、♂ 446.66 g) 明显大于养殖中国鲈 (体长 284.00 mm; 体重 383.00 g) (王汉平

等 1995), 到 3 龄的养殖美洲鲈个体 (体长 ♀387.20 mm、♂345.83 mm; 体重 ♀1 038.91 g、♂616.07 g) 与养殖中国鲈的个体 (体长 358.50 mm; 体重 737.50 g) (王汉平等 1995) 相近; 这说明了在 2 龄前, 工厂化养殖美洲鲈生长速度快于中国鲈; 随着生长发育, 养殖美洲鲈出现性成熟生长拐点 (1.517 8 a♀; 1.224 7 a♂), 特别是 2 龄鱼性成熟后, 2+龄美洲鲈的生长速度明显降低, 而中国鲈的性成熟生长拐点出现在 2.805 3 a, 性成熟年龄是 3 龄 (王汉平等 1995), 2+龄中国鲈还处于旺盛的生长阶段。这导致了 2+龄养殖美洲鲈生长速度明显慢于中国鲈, 同时也造成了养殖美洲鲈总体生长速度明显慢于中国鲈。因此, 工厂化养殖美洲鲈生长总体速度慢于池塘养殖中国鲈, 但 2 龄前, 美洲鲈生长速度快于中国鲈。

3.3 养殖美洲鲈生长特性与养殖能效

鱼类生长是种群属性的反映, 工厂化养殖美洲鲈的年际生长特征可用 von Bertalanffy 方程表示, 体长生长由快到慢, 体重生长由慢到快、再转慢。工厂化养殖美洲鲈的理论最大体长 L_{∞} (467.92 mm♀; 389.21 mm♂)、最大体重 W_{∞} (1 637.72 g♀; 834.08 g♂), 表明美洲鲈在工厂化养殖条件下仍具有良好的生长潜力。一般认为, 鱼类的生长拐点分为性成熟拐点和衰老拐点。前者是鱼类接近性成熟的年龄, 工厂化养殖美洲鲈初次性成熟的年龄为 2 龄, 其生长拐点位于 t_r (♀1.517 8 a; ♂1.224 7 a), 属性成熟拐点, 拐点前的生长较快。本研究中, 实际养殖的美洲鲈, 0+龄为快速生长期, 1+龄为稳定生长期, 而 2+龄进入生长衰老期。因此商品化养殖美洲鲈以 2 龄前上市为宜。

与此同时, 本研究还发现, 2 龄鱼繁殖季节过后, 亲鱼都会出现大量死亡。在繁殖季节过后的 1 个月内, 2 龄鱼的成活率在 30% ~ 60%, 3 龄鱼成活率不足 10%。这也再次要求不做人工繁育生产的养殖户, 在 2 龄前, 把养殖美洲鲈商品鱼全部上市, 不能留到 5 ~ 6 月份

以后, 以避免不必要的损失。

参 考 文 献

- Johnson J R, Loesch J G. 1983. Morphology and development of hatchery-cultured American shad, *Alosa sapidissima* (Wilson). *Fishery Bulletin*, 81(2): 323-339.
- Leach S D, Houde E D. 1999. Effects of environmental factors on survival, growth, and production of American shad larvae. *Journal of Fish Biology*, 54(4): 767-786.
- von Bertalanffy L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, 10(2): 181-213.
- 曹祥瑞, 乔燕平, 李雪松. 2016. 美国鲈鱼亲鱼培育及促熟产卵技术研究. *科学养鱼*, (4): 6-7.
- 杜浩. 2005. 美洲鲈 (*Alosa sapidissima*) 人工孵化、养殖及转运关键技术的研究. 武汉: 华中农业大学学位论文, 15-22.
- 高小强, 洪磊, 刘志峰, 等. 2015. 美洲鲈仔稚鱼异速生长模式研究. *水生生物学报*, 39(3): 638-644.
- 洪孝友, 陈昆慈, 李凯彬, 等. 2014. 水库网箱美洲鲈养殖试验. *水产养殖*, (2): 8-9.
- 洪孝友, 朱新平, 陈昆慈, 等. 2011. 美洲鲈胚胎及仔稚鱼的发育. *水生生物学报*, 35(1): 153-162.
- 刘青华, 贾艳菊, 高永利, 等. 2006. 美洲鲈鱼养殖的瓶颈和对策 (下). *科学养鱼*, (5): 3.
- 王汉平, 钟鸣远, 陈大庆, 等. 1995. 鲈鱼的驯养与生物学研究 II. 池养鲈鱼的生长特性及其与温度的关系. *应用生态学报*, 6(3): 291-297.
- 徐钢春, 张呈祥, 郑金良, 等. 2012. 美洲鲈的人工繁殖及胚胎发育的研究. *海洋科学*, 36(7): 89-96.
- 徐纪萍, 钱辉仁. 2011. 美洲鲈鱼循环水清洁养殖技术. *中国水产*, (9): 33-36.
- 杨坤, 张静, 汪留全, 等. 2008. 不同饲料蛋白水平对美洲鲈幼鱼生长的影响. *水产科学*, 27(11): 581-583.
- 张呈祥, 徐钢春, 徐跑, 等. 2010. 美洲鲈仔、稚、幼鱼的形态发育与生长特征. *中国水产科学*, 17(6): 1227-1235.
- 张根玉, 朱雅珠, 张海明, 等. 2008. 美国鲈鱼人工繁殖技术研究. *水产科技情报*, 35(5): 221-223.
- 张云龙, 邵辉, 袁娟, 等. 2010. 美国鲈鱼高产模式关键技术. *渔业致富指南*, (19): 35-36.