

珠江口棘头梅童鱼耳石的生长特性

区又君^① 廖锐^{①②} 李加儿^① 勾效伟^①

① 中国水产科学研究院南海水产研究所 广州 510300; ② 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306

摘要:研究了棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)耳石的形态参数、生长特性及其与鱼体生长的关系,选用左矢耳石为研究对象,用直线、对数、多项式、幂函数和指数函数拟合矢耳石各参数的生长关系式,依据耳石日轮鉴定了日龄。结果表明,体长范围为29.8~104.0 mm的棘头梅童鱼矢耳石的长直径随鱼体生长而增大,但短直径与长直径的比值以及长直径方向上的短半径与长半径的比值则基本稳定。矢耳石的长、宽和重之间,以及长半径和短半径之间均呈显著的幂函数相关关系;矢耳石生长与鱼体生长的关系中,矢耳石长、宽、厚、重与长半径和体长、体重之间的关系,除了体长与耳石厚的关系为显著的二次多项式外,全部呈显著的幂函数相关关系。

关键词:棘头梅童鱼;耳石生长;生长关系

中图分类号:Q958 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2012)01-88-08

Otolith Growth Characteristics of *Collichthys lucidus* from the Pearl River Estuary

OU You-Jun^① LIAO Rui^{①②} LI Jia-Er^① GOU Xiao-Wei^①

① South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300;

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

Abstract: Morphological parameters and otolith growth of *Collichthys lucidus* were investigated by counting and measuring the daily rings in the left sagitta. Linear, logarithmic, polynomial, functional and exponential growth equations were used to describe the growth of otolith by morphological parameters of sagitta and to determinate daily age by the daily ring of sagittae. The long diameter of otolith in *C. lucidus* grew longer as fish body length increase within the range of 29.8 – 104.0 mm, but the ratio of short diameter /long diameter and short radius/long radius was rather stable. A significant power functional relationship was found out between long, width and weight of sagitta and between long radius and short radius. The relationships between length, width, thickness and weight of sagitta with fish body length and weight showed a significant power relationship except for the parameter of fish body length and thickness of sagitta which was represented by quadratic polynomial function equation.

Key words: *Collichthys lucidus*; Otolith growth; Growth relationship

基金项目 国家科技支撑计划项目(No. 2006BAD09A14),中国水产科学研究院水产种质资源与养殖技术重点开放实验室项目;

第一作者介绍 区又君,女,研究员;研究方向:鱼类生物学、发育生物学与水产增养殖技术;E-mail: ouyoujun@126.com。

收稿日期:2011-08-08,修回日期:2011-11-17

棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*) 属鲈形目石首鱼科梅童鱼属, 为近海主要经济鱼类, 适温性、适盐性广, 在我国沿海均有分布。鱼类耳石的特点是其形态、大小、功能和微结构特征随种类而存在差异, 不仅可作为鱼类分类鉴别的特征之一, 而且可作为鉴定年龄和分析生长的材料, 在日龄鉴定、孵化期和产卵期调查以及早期生长研究中具有其他研究方法无法比拟的优势^[1]。许多研究都证实了耳石的生长与鱼体的生长呈显著的相关关系^[2-5], 当直接观察鱼类的生长有困难时, 可以从耳石的生长评估鱼类的生长。因此, 研究鱼类耳石的生长特性对鱼类生长的研究和资源评估具有重要意义。本文研究采自珠江口的棘头梅童鱼矢耳石的生长特性, 以期掌握其耳石的形成规律及与鱼体生长的关系, 为棘头梅童鱼的生物学、生长和早期生活史研究提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 材料来源和处理 棘头梅童鱼样本在广东省虎门海域分批采集, 采样时间自 2006 年 1 月至 2006 年 12 月, 共采集 60 尾, 体长 29.8 ~ 104.0 mm。样本收集后即测量体长、体重等生长指标, 长度精确到 0.1 mm, 重量精确到 0.01 g; 解剖取出矢耳石, 经无水酒精清洗、晾干后, 用分析天平称重, 精确到 0.000 1 g; 耳石长度(耳石的最大长度为长直径, 通过耳石中心与长直径垂直的最大宽度为短直径) 和耳石厚用游标卡尺测量, 精确到 0.02 mm。

1.2 耳石样品的制备和拍照 把矢耳石先用磨刀石打磨, 磨至接近中心时换用 1 500# 的砂纸, 细细打磨, 直至耳石中心显现。然后翻转耳石, 用同样的方法打磨另一面, 磨至耳石中心后, 用浓度为 1 g/L 的蛋白酶 K 溶液进行蚀刻, 直至能清晰分辨出日轮, 然后用酒精清洗耳石表面, 风干。用中性树胶固定于载玻片上用显微镜观察、拍照。

1.3 矢耳石日轮计数、长短半径以及生长轴长的测量 耳石制片经过蛋白酶 K 蚀刻、清洗, 在光学显微镜下测量耳石的生长轮纹数量, 用

目镜测微尺测量长半径和短半径(以在长直径方向上, 由耳石中心至耳石边缘的最大距离为耳石的长半径, 最小距离为短半径, 精确度 0.01 mm); 选择轮纹较清晰的部分作为耳石生长轴, 平均生长轮宽度是指从耳石中心至边缘生长轴长与日龄的比值。

1.4 日龄推算 假定棘头梅童鱼耳石生长轮具有日沉积规律, 同时还假定第一个生长轮是在孵化后第 2 天出现的, 将耳石生长轮数目加上 1 便推算出样本鱼的日龄。在计数日轮过程中, 同一样本经过 2 ~ 3 次的重复判读, 每次判读间隔至少 1 个月且随机取样, 当几次计数间的差异在 10% 以内时, 取其平均值作为耳石的最终生长轮数, 差异大于 10% 的样品则摒弃, 最终共保留 43 尾个体的数据。

1.5 数据分析 采用 Excel 2003 和 SPSS 12.0 软件, 用直线、对数、多项式、幂函数和指数函数对 43 尾棘头梅童鱼的矢耳石大小与鱼体大小的相关关系进行拟合分析。

2 结果

2.1 矢耳石的形态变化 如图 1 所示, 体长范围为 29.8 ~ 104.0 mm 的棘头梅童鱼矢耳石的长直径随鱼体生长而增大, 长直径 (SL) 与体长 (L) 之间为幂函数关系 $SL = 0.112 3 L^{0.855 2}$ ($R^2 = 0.949 1, n = 43$), 但短直径与长直径的比值以及长直径方向上的短半径与长半径的比值则基本稳定(图 2), 表明矢耳石中心核的相对位置基本不变。

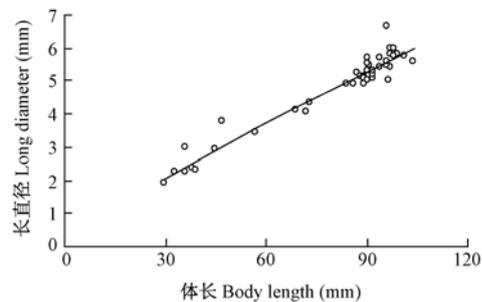


图 1 棘头梅童鱼矢耳石长直径与体长的关系
Fig. 1 Relationship between body length and long diameter of sagitta in *Collichthys lucidus*

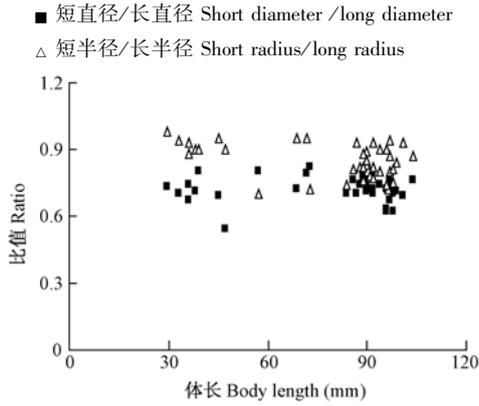


图2 棘头梅童鱼矢耳石短直径与长直径、短半径与长半径的比值 ($n = 43$)

Fig. 2 Ratio between short and long diameter, short and long radius of otolith of *Collichthys lucidus*

2.2 矢耳石的生长特性

2.2.1 矢耳石长短半径之间的关系 棘头梅童鱼的矢耳石长半径 (LR) 与短半径 (SR) 间呈显著的幂函数相关 (图3), 其关系式为 $LR = 1.1103 SR^{1.0794}$ ($R^2 = 0.9333, n = 43$)。

2.2.2 矢耳石长、宽和重之间的关系 棘头梅童鱼的矢耳石长 (SL) 与矢耳石宽 (SH)、矢耳石长与矢耳石重 (SW) 和矢耳石宽与矢耳石重之间均呈显著的幂函数相关, 其关系式分别为: $SL = 1.4499SH^{0.9637}$ ($R^2 = 0.9379, n = 43$) (图4), $SW = 2.5006 \times 10^{-4} SL^{3.1744}$ ($R^2 = 0.9655, n = 43$) (图5), $SW = 7.0 \times 10^{-4} SH^{3.2189}$ ($R^2 = 0.9755, n = 43$) (图6)。

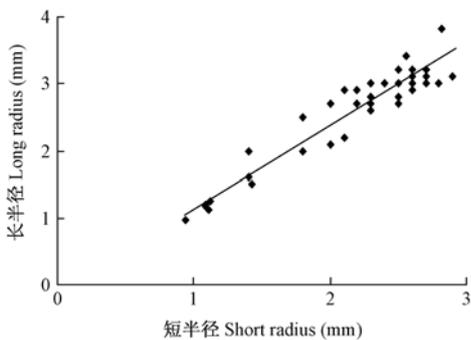


图3 棘头梅童鱼矢耳石长半径与短半径的关系
Fig. 3 Relationship between long radius and short radius of the sagitta in *Collichthys lucidus*

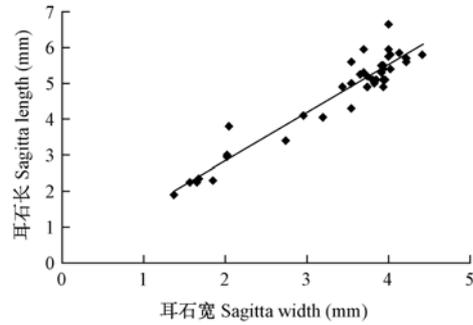


图4 棘头梅童鱼矢耳石长与矢耳石宽的关系
Fig. 4 Relationship between length and width of the sagitta in *Collichthys lucidus*

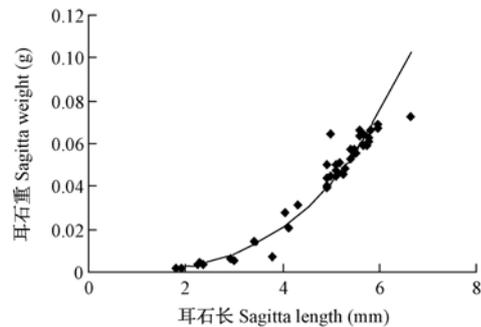


图5 棘头梅童鱼矢耳石长与矢耳石重的关系
Fig. 5 Relationship between length and weight of the sagitta in *Collichthys lucidus*

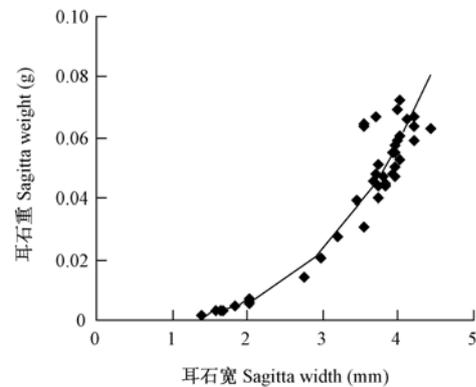


图6 棘头梅童鱼矢耳石宽与矢耳石重的关系
Fig. 6 Relationship between width and weight of the sagitta in *Collichthys lucidus*

2.3 矢耳石生长与鱼体生长的关系

2.3.1 矢耳石长、宽和厚与体长、体重之间的关系 如图7所示, 棘头梅童鱼的矢耳石长 (SL)、宽 (SH) 和厚 (ST) 与体长 (L)、体重 (W) 之间的关系中, 除了体长与耳石厚的关

系为显著的二次回归方程外,其余均为显著的幂函数相关。矢耳石各生长因子与鱼体生长之间的关系式分别为:体长-耳石长 $L = 14.113SL^{1.1098}$ ($R^2 = 0.9491$), 体重-耳石长 $W = 0.051SL^{3.5045}$ ($R^2 = 0.9548$); 体长-耳石宽 $L = 20.208SH^{1.1146}$ ($R^2 = 0.9666$), 体重-耳石宽 $W = 0.1589SH^{3.5163}$ ($R^2 = 0.9707$); 体长-耳石厚 $L = -10.868ST^2 + 76.437ST - 32.695$ ($R^2 = 0.9522$), 体重-耳石厚 $W = 0.9159ST^{3.1705}$ ($R^2 = 0.9446$)。

2.3.2 矢耳石长半径与体长、体重的关系 将棘头梅童鱼矢耳石长半径对体长、体重进行回归分析,结果表明,矢耳石长半径(LR)与体长

(L)、体重(W)分别呈显著的幂函数相关(图8),其相关方程分别为: $L = 29.742 LR^{1.0405}$ ($R^2 = 0.9402, n = 43$), $W = 0.5362 LR^{3.2866}$ ($R^2 = 0.9464, n = 43$)。

2.3.3 矢耳石重与体长、体重之间的关系 对棘头梅童鱼的矢耳石重(SW)与体长(L)、体重(W)的实测数据进行拟合分析,矢耳石重与体长、体重均呈显著的幂函数相关(图9),其关系式为 $L = 253.45SW^{0.3459}$ ($R^2 = 0.9904, n = 43$), $W = 451.36SW^{1.0827}$ ($R^2 = 0.9908, n = 43$)。

2.4 日龄、矢耳石生长轴长和平均生长轮宽度 棘头梅童鱼矢耳石日龄为 (232.5714 ± 90.8227) d, 耳石生长轴长 (2.1973 ± 0.7814)

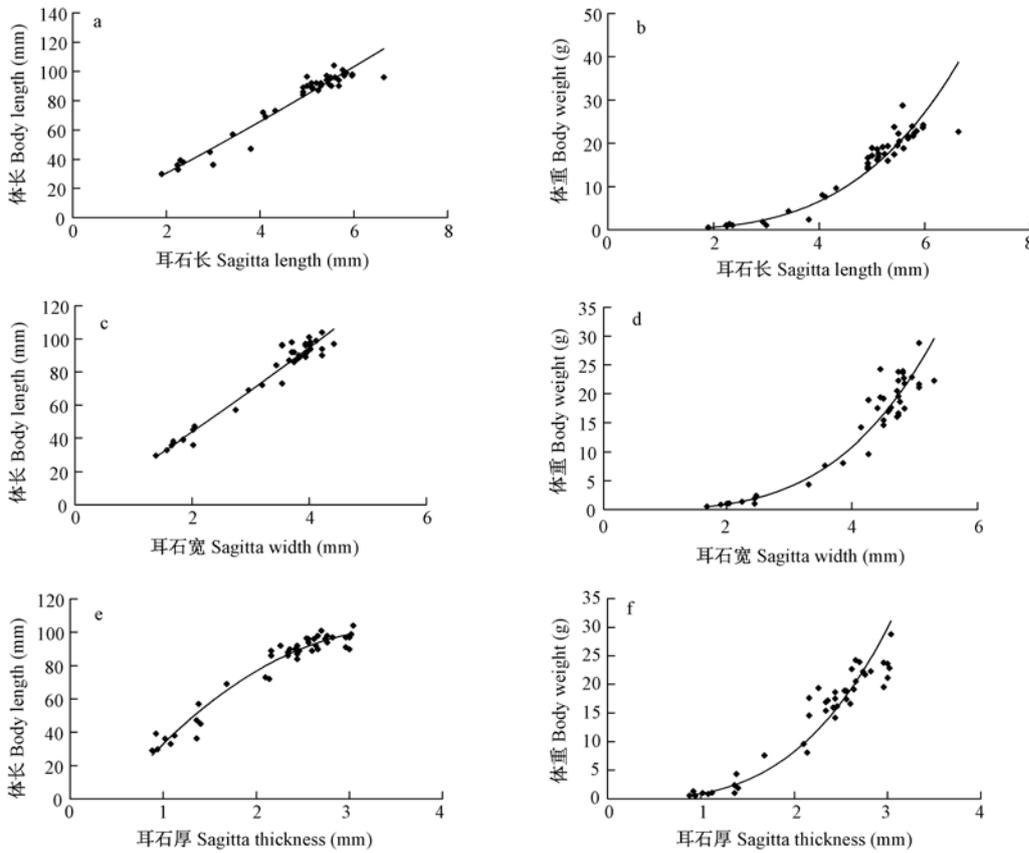


图7 棘头梅童鱼矢耳石长、宽和厚与体长、体重之间的关系

Fig. 7 Relationship between sagitta length, width, thickness and body length, body weight in *Collichthys lucidus*

a. 耳石长-体长; b. 耳石长-体重; c. 耳石宽-体长; d. 耳石宽-体重; e. 耳石厚-体长; f. 耳石厚-体重。

a. Sagitta length and body length; b. Sagitta length and body weight; c. Sagitta width and body length; d. Sagitta width and body weight; e. Sagitta thickness and body length; f. Sagitta thickness and body weight.

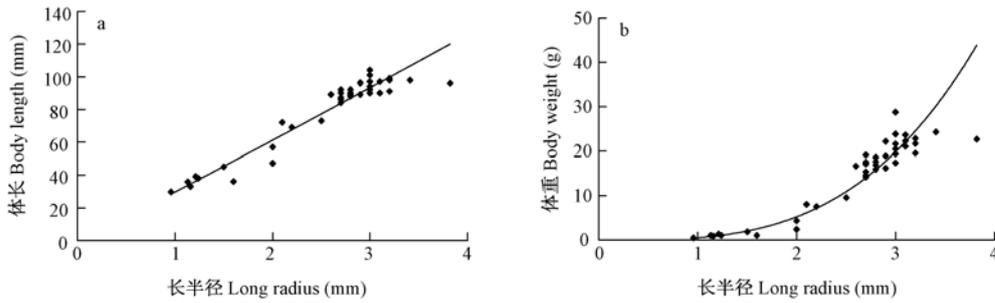


图 8 棘头梅童鱼矢耳石长半径与体长 (a)、体重 (b) 的关系

Fig. 8 Relationship between long radius of sagitta and body length (a), body weight (b) in *Collichthys lucidus*

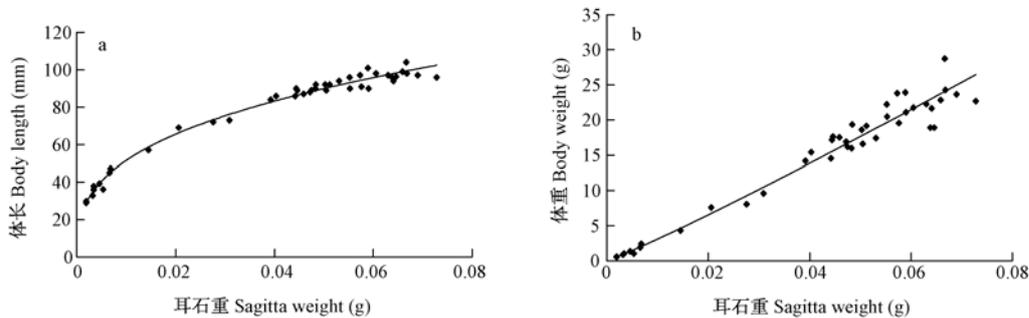


图 9 棘头梅童鱼矢耳石重与体长 (a)、体重 (b) 的关系

Fig. 9 Relationship between sagitta weight and body length (a), body weight (b) in *Collichthys lucidus*

mm; 生长轮宽度最大 $16.1984 \mu\text{m}$, 最小 $7.4152 \mu\text{m}$, 平均 $(9.8097 \pm 2.0696) \mu\text{m}$ 。

3 讨论

3.1 耳石的形态变化 有研究表明, 在仔鱼期, 鱼类的矢耳石接近于圆形, 但随着鱼体生长进入稚鱼期, 耳石也迅速呈不对称生长, 形状发生变化。解玉浩等^[6]研究发现, 鳙鱼 (*Aristichthys nobilis*) 矢耳石变成稳定形态后, 其直径仍随体长的增长而增加, 但矢耳石长径与短径的比例及长径上的较长半径与较短半径的比例均保持基本稳定, 其矢耳石由中心向四周的增长是同步进行的, 可选择任何一个轮纹清晰的半径进行体长生长退算。管兴华等^[3]研究得出, 草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 微耳石长半径和短半径方向上, 耳石沉积速率是较为稳定的。本研究结果表明, 棘头梅童鱼在体长达到 29.8 mm 以后, 耳石虽然随着鱼体生长而

不断增大, 但耳石的基本形态已趋于稳定, 矢耳石中心核的相对位置也基本稳定, 这表明在长径和短径方向上, 耳石沉积速率是较为稳定的, 在长径方向上, 耳石由中心向长径上的短半径与长半径的增长基本同步, 从而保证耳石形态的基本稳定, 因此, 耳石可作为鱼类分类鉴别的特征之一, 并可通过耳石半径与鱼体生长的相关关系进行年龄和生长评估。

3.2 耳石的生长特性 鱼类耳石的生长是有一定规律的, 研究其生长规律可以更准确地研究鱼类的生活史和生长, 目前, 国内外有关耳石的研究及应用已广泛开展起来。有研究表明, 耳石大小与鱼体大小之间呈显著的线性或指数关系, 如白刺盖太阳鱼 (*Pomoxis annularis*)^[4] 和唐鱼 (*Tanichthys albonubes*) 仔鱼^[5] 等鱼类; 大黄鱼 (*Pseudosciaena crocea*) 在相同年龄下, 耳石半径和体长呈正相关^[2], 草鱼幼鱼体长和日龄呈显著的线性关系, 体重和日龄则呈指数关

系^[3]。然而,相关研究也表明,在不良的环境下,由于耳石生长速率稍快于鱼体的生长速率而可能破坏了耳石大小与鱼体大小之间的线性相关关系^[7-10]。Aydin 等^[11]研究表明,软口鱼(*Chondrostoma regium*) 的鱼体体长(标准体长、尾叉长和全长)与耳石长之间的线性关系并不十分显著,并认为造成不同研究者得到的鱼体体长-耳石长相关关系存在差异的原因可能是鱼类种类、栖息地、环境中食物可得性以及水质的差异所致。李建军等^[12]的研究发现,四大家鱼幼鱼微耳石短半径与体长、体重均呈极显著的线性相关关系;而在宋昭彬^[13]的研究中,四大家鱼幼鱼微耳石长直径与体长均呈显著线性关系,与体重均呈显著幂函数关系;在管兴华等^[3]的研究中,草鱼幼鱼微耳石长半径与体长呈显著线性关系,与体重呈显著指数关系。这 3 项研究中的四大家鱼幼鱼耳石大小与体重关系存在差异,部分原因是所取样本不同所致,而更主要的原因是由于分别采用耳石长直径、长半径和短半径与鱼体大小进行分析,从而使得结果存在差异。另外,在不同的生长阶段,耳石大小与鱼体体长相关关系可能不一样,在仔

鱼期,二者呈指数关系,进入稚鱼期后,逐渐转变为线性关系。Huang 等^[14]研究发现,线性关系是稚鱼期耳石大小与鱼体的普遍关系。

本研究结果中,棘头梅童鱼矢耳石的长、宽和重之间,长半径和短半径之间,矢耳石大小与鱼体大小之间,除了体长与耳石厚的关系为极显著的二次多项式外,全部呈极显著的幂函数相关关系。分别用直线、对数、多项式、幂函数和指数函数对实测数据进行拟合分析表明,所建立的生长关系式的相关系数都达到了极显著水平($R > r_{0.01} = 0.393$),但体长与耳石厚的二次多项式的决定系数是 5 种不同曲线拟合中最高的,即二次多项式优于其他关系式,其余全部关系式的幂函数决定系数均为 5 种不同曲线拟合中最高的,表明配合出的幂函数方程是最适宜的(表 1)。长半径和短半径、矢耳石长与矢耳石宽、体长与耳石长、体长与耳石宽、长半径与体长、体重与耳石重等之间虽然呈极显著的线性相关,且幂函数关系的 b 值也接近于 1,但幂函数关系显然优于线性关系。因此,本研究结果表明, $Y = aX^b$ 能够较好地描述棘头梅童鱼矢耳石生长的一般关系。

表 1 拟合棘头梅童鱼耳石生长方程的数学模型

Table 1 Mathematical models describing the sagitta growth of *Collichthys lucidus*

生长关系 Growth relationship	函数类型 Function	拟合方程 Equation	R^2	R
长直径(SL)-体长(L) Body length and long diameter	直线 Linear	$SL = 0.0524L + 0.5526$	0.9374	0.9682
	幂函数 Functional	$SL = 0.1123L^{0.8552}$ *	0.9491	0.9705
	对数函数 Logarithmic	$SL = 3.21 \ln(L) - 9.1445$	0.9263	0.9624
	指数函数 Exponential	$SL = 1.5095e^{0.0138L}$	0.9350	0.9670
	二次多项式 Polynomial	$SL = 5 \times 10^{-7}L^2 + 0.0523L + 0.5544$	0.9374	0.9682
长半径(LR)-短半径(SR) Long radius and short radius	直线 Linear	$LR = 1.2052SR - 0.0395$	0.8969	0.9470
	幂函数 Functional	$LR = 1.1103SR^{1.0794}$ *	0.9333	0.9660
	对数函数 Logarithmic	$LR = 2.1672 \ln(SR) + 0.9834$	0.9077	0.9527
	指数函数 Exponential	$LR = 0.6821e^{0.59SR}$	0.8910	0.9439
	二次多项式 Polynomial	$LR = -0.2762SR^2 + 2.264SR - 0.9562$	0.9086	0.9532
耳石长(SL)-耳石宽(SH) Length and width of the sagitta	直线 Linear	$SL = 1.335SH + 0.1836$	0.9096	0.9537
	幂函数 Functional	$SL = 1.4499SH^{0.9637}$ *	0.9379	0.9685
	对数函数 Logarithmic	$SL = 3.5939 \ln(SH) + 0.4856$	0.9035	0.9505
	指数函数 Exponential	$SL = 1.3574e^{0.3536SH}$	0.9212	0.9598
	二次多项式 Polynomial	$SL = -0.0505SH^2 + 1.6271SH - 0.1879$	0.9102	0.9540

续表 1

生长关系 Growth relationship	函数类型 Function	拟合方程 Equation	R^2	R
耳石长 (SL)-耳石重 (SW) Length and weight of the sagitta	直线 Linear	$SW = 0.0172 SL - 0.039$	0.9274	0.9630
	幂函数 Functional	$SW = 2.5006 \times 10^{-4} SL^{3.1744 *}$	0.9655	0.9826
	对数函数 Logarithmic	$SW = 0.0616 \ln(SL) - 0.0505$	0.8675	0.9313
	指数函数 Exponential	$SW = 0.0005e^{0.8485 SL}$	0.9466	0.9729
	二次多项式 Polynomial	$SW = 0.0021 SL^2 - 1 \times 10^{-5} SL - 0.0085$	0.9452	0.9722
耳石宽 (SH)-耳石重 (SW) Width and weight of the sagitta	直线 Linear	$SW = 0.0239 SH - 0.0394$	0.8679	0.9316
	幂函数 Functional	$SW = 7.0 \times 10^{-4} SH^{3.2189 *}$	0.9755	0.9877
	对数函数 Logarithmic	$SW = 0.0634 \ln(SH) - 0.0327$	0.8337	0.9131
	指数函数 Exponential	$SW = 0.0005e^{1.1815 SH}$	0.9589	0.9792
	二次多项式 Polynomial	$SW = 0.0041 SH^2 - 6 \times 10^{-6} SH - 0.0089$	0.8780	0.9370
体长 (L)-耳石长 (SL) Body length and sagitta length	直线 Linear	$L = 17.888 SL - 4.8717$	0.9374	0.9682
	幂函数 Functional	$L = 14.113 SL^{1.1098 *}$	0.9491	0.9742
	对数函数 Logarithmic	$L = 67.875 \ln(SL) - 22.74$	0.9350	0.9670
	指数函数 Exponential	$L = 19.257e^{0.2886 SL}$	0.9263	0.9624
	二次多项式 Polynomial	$L = -1.4969 ST^2 + 30.196 SL - 27.392$	0.9456	0.9724
体重 (W)-耳石长 (SL) Body weight and sagitta weight	直线 Linear	$W = 6.4224 SL - 15.442$	0.9035	0.9505
	幂函数 Functional	$W = 0.051 SL^{3.5045 *}$	0.9548	0.9771
	对数函数 Logarithmic	$W = 23.695 \ln(SL) - 20.835$	0.8519	0.9229
	指数函数 Exponential	$W = 0.1352e^{0.9124 SL}$	0.9343	0.9666
	二次多项式 Polynomial	$W = 0.6086 SL^2 + 1.418 SL - 6.2858$	0.9137	0.9559
体长 (L)-耳石宽 (SH) Body length and sagitta width	直线 Linear	$L = 25.154 SH - 5.9499$	0.9462	0.9727
	幂函数 Functional	$L = 20.208 SH^{1.1146 *}$	0.9666	0.9832
	对数函数 Logarithmic	$L = 67.76 \ln(SH) - 0.3074$	0.9410	0.9700
	指数函数 Exponential	$L = 18.692e^{0.4094 SH}$	0.9518	0.9756
	二次多项式 Polynomial	$L = -2.0007 SH^2 + 36.736 SH - 20.676$	0.9486	0.9740
体重 (W)-耳石宽 (SH) Body weight and sagitta width	直线 Linear	$W = 8.8061 SH - 15.058$	0.8670	0.9311
	幂函数 Functional	$W = 0.1589 SH^{3.5163 *}$	0.9707	0.9852
	对数函数 Logarithmic	$W = 23.216 \ln(SH) - 12.483$	0.8258	0.9087
	指数函数 Exponential	$W = 0.1237e^{1.2931 SH}$	0.9579	0.9787
	二次多项式 Polynomial	$W = 2.0855 SH^2 - 3.2669 SH + 0.2928$	0.8859	0.9412
体长 (L)-耳石厚 (ST) Body length and sagitta thickness	直线 Linear	$L = 33.862 ST + 3.4619$	0.9239	0.9620
	幂函数 Functional	$L = 35.01 ST^{1.0111}$	0.9407	0.9851
	对数函数 Logarithmic	$L = 61.283 \ln(ST) + 33.413$	0.9444	0.9718
	指数函数 Exponential	$L = 21.713e^{0.5513 ST}$	0.8962	0.9467
	二次多项式 Polynomial	$L = -10.868 ST^2 + 76.437ST - 32.695 *$	0.9522	0.9758
体重 (W)-耳石厚 (ST) Body weight and sagitta thickness	直线 Linear	$W = 12.114 ST - 12.262$	0.9242	0.9613
	幂函数 Functional	$W = 0.9159 ST^{3.1705 *}$	0.9446	0.9719
	对数函数 Logarithmic	$W = 21.26 \ln(ST) - 1.0553$	0.8884	0.9425
	指数函数 Exponential	$W = 0.2024e^{1.7338 ST}$	0.9053	0.9514
	二次多项式 Polynomial	$W = 0.9706 ST^2 + 8.3109 ST - 9.0326$	0.9260	0.9622
体长 (L)-长半径 (LR) Body length and long radius	直线 Linear	$L = 31.082 LR - 0.0791$	0.9158	0.9570
	幂函数 Functional	$L = 29.742 LR^{1.0405 *}$	0.9402	0.9696
	对数函数 Logarithmic	$L = 63.443 \ln(LR) + 23.026$	0.9206	0.9594
	指数函数 Exponential	$L = 20.74e^{0.5026 LR}$	0.9093	0.9536
	二次多项式 Polynomial	$L = -6.1443 LR^2 + 58.558 LR - 27.188$	0.9338	0.9663
体重 (W)-长半径 (LR) Body weight and long radius	直线 Linear	$W = 11.11 LR - 13.594$	0.8749	0.9354
	幂函数 Functional	$W = 0.5362 LR^{3.2866 *}$	0.9464	0.9728
	对数函数 Logarithmic	$W = 22.02 \ln(LR) - 4.7431$	0.8291	0.9105
	指数函数 Exponential	$W = 0.1706e^{1.59 LR}$	0.9181	0.9582
	二次多项式 Polynomial	$W = 0.6243 LR^2 + 8.3185 LR - 10.839$	0.8763	0.9361

续表 1

生长关系 Growth relationship	函数类型 Function	拟合方程 Equation	R^2	R
体长(L)-耳石重(SW) Body length and sagitta weight	直线 Linear	$L = 992.39 SW + 37.677$	0.934 0	0.966 4
	幂函数 Functional	$L = 253.45 SW^{0.3459} *$	0.990 4	0.995 2
	对数函数 Logarithmic	$L = 20.767 \ln(SW) + 152.69$	0.975 4	0.987 6
	指数函数 Exponential	$L = 38.24e^{15.942 SW}$	0.882 1	0.939 2
	二次多项式 Polynomial	$L = -13.538 SW^2 + 1.915.7 SW + 29.654$	0.985 7	0.992 8
体重(W)-耳石重(SW) Body weight and sagitta weight	直线 Linear	$W = 359.46 SW - 0.2067$	0.957 9	0.978 7
	幂函数 Functional	$W = 451.36 SW^{1.0827} *$	0.990 8	0.9954
	对数函数 Logarithmic	$W = 7.0108 \ln(SW) + 39.636$	0.869 0	0.932 2
	指数函数 Exponential	$W = 1.2068e^{50.012 SW}$	0.886 5	0.941 5
	二次多项式 Polynomial	$W = -817.74 SW^2 + 415.23 SW - 0.6913$	0.959 4	0.979 5

* 表示拟合度最高。* Mean maximum degree of fitting.

参 考 文 献

- [1] 廖锐, 区又君. 鱼类耳石研究和应用进展. 南方水产, 2008, 4(1): 69 - 75.
- [2] 兰永伦, 罗秉征. 大黄鱼耳石、体长与年龄的关系. 海洋与湖沼, 1996, 27(3): 323 - 329.
- [3] 管兴华, 曹文宣. 利用耳石日轮技术研究长江中游草鱼幼鱼的孵化期及生长. 水生生物学报, 2007, 31(1): 18 - 23.
- [4] Maceina M J, Betsill R K. Verification and use of whole otoliths to age white crappie//Summertfelt R C, Hall G E. Age and Growth of Fish. Ames: Iowa State University Press, 1987: 267 - 278.
- [5] 史方, 孙军, 林小涛, 等. 唐鱼仔鱼耳石的形态发育及日轮. 动物学杂志, 2006, 41(4): 10 - 16.
- [6] 解玉浩, 李勃, 富丽静, 等. 鳊仔—幼鱼耳石日轮与生长的研究. 中国水产科学, 1995, 2(2): 34 - 42.
- [7] Mosegaard H, Svedäng H, Taberman K. Uncoupling of somatic and otolith growth rates in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) as an effect of differences in temperature response. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1988, 45(9): 1514 - 1524.
- [8] Secor D H, Dean J M. Somatic growth effects on the otolith-fish size Relationship in young pond-reared striped bass, *Morone saxatilis*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1989, 46(1): 113 - 121.
- [9] Reznick D, Lindbeck E, Bryga H. Slower growth results in larger Otoliths: an experimental test with guppies (*Poecilia reticulata*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1989, 46(1): 108 - 112.
- [10] Wright P J, Metcalfe N B, Thorpe J E. Otolith and somatic growth rates in Atlantic salmon parr, *Salmo salar* L.: evidence against coupling. J Fish Bio, 1990, 36(2): 241 - 249.
- [11] Aydin R, Calta M, Sen D, et al. Relationships between fish lengths and otolith length in the population of *Chondrostoma regium* (Heckel, 1843) inhabiting Keban Dam Lake. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2004, 7(9): 1550 - 1553.
- [12] 李建军, 吴志强, 胡茂林. 长江湖口水域四大家鱼幼鱼的耳石与生长研究. 水生态学杂志, 2010, 3(6): 56 - 61.
- [13] 宋昭彬. 四大家鱼仔鱼耳石微结构的特征及其应用研究. 武汉: 中国科学院水生生物研究所博士学位论文. 2000.
- [14] Huang W B, Chiu T S. Daily increments in otoliths and growth equation of black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*, larvae. Acta Zoologica Taiwanica, 1997, 8(2): 121 - 131.