

Yang Y L, Chen Y J, Xue X, *et al.* Growth characteristics and environmental influencing factors of different geographical populations of *Carassius auratus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2026, 50(1): 012615. [杨云磊, 陈永进, 薛雪, 等. 鲫不同地理种群的生长特征及其环境影响因子研究 [J]. 水生生物学报, 2026, 50(1): 012615.]

鲫不同地理种群的生长特征及其环境影响因子研究

杨云磊^{1,2} 陈永进² 薛雪² 梁翼东^{1,2} 方宇航^{1,2} 徐东坡^{1,2}

(1. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 无锡 214081)

摘要: 为探究鲫(*Carassius auratus*)生长特征与环境因子的关系, 研究选取地理环境具有显著差异的7个湖泊(松花湖、乌梁素海、衡水湖、洪泽湖、高邮湖、太湖和洱海)。基于体长-体重关系、生长系数 k 、渐进体长 L_{∞} 及拐点年龄 t_1 等生长参数量化不同水域鲫的生长发育情况, 并进一步结合曼特尔检验(Mantel Test)、斯皮尔曼相关分析(Spearman)和冗余分析(RDA)等多种方法, 解析环境因子对其生长的影响。结果表明: (1)不同种群间平均体长、平均体重存在显著差异($P<0.05$); 生长指数 b 介于2.96—3.15, 纬度较低的湖泊, 鲫呈现匀速生长, 纬度较高的湖泊, 呈现正异速生长。(2)所有种群均表现为快速生长型($k>0.2$); 渐进体长 L_{∞} 为243.50—278.25 mm; 松花湖和乌梁素海拐点年龄 t_1 在2龄以上, 其余均在1龄左右; 生长性能指数 ϕ' 处于4.36—4.76。(3)分析显示, 地理空间因子(海拔、纬度、岸线发育系数)与理化参数(pH、浊度、水深)共同调控生长特征, 且地理空间因子(海拔和岸线发育系数)解释度达76.4% ($P<0.05$), 占主导地位。本研究揭示了不同地理群体鲫生长策略及其与环境之间的关系, 为进一步探索鲫的生长生态特征和其对环境变化的响应提供了理论依据。

关键词: 生长特征; 海拔; 岸线发育系数; 冗余分析; 鲫

中图分类号: Q178.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2026)01-012615-11

doi: 10.3724/1000-3207.2025.2025.0147 **CSTR:** 32229.14.SSSWXB.2025.0147



在全球气候变化和人类活动的影响下, 生物多样性和水生生态系统面临着严峻的挑战。气候变化对淡水生态系统影响显著, 其中水温变化可直接影响鱼类免疫能力、繁殖等正常生理过程^[1], 大气和海洋温度的持续升高, 会导致物种丰度的变化^[2], 了解和探讨驱动鱼类生长发育特性的环境因子, 对于未来保护规划和制定适应气候变化的策略至关重要^[3]。渔业生物的生长特性是研究和评估渔业资源环境的基础性内容^[4], 渐进体长、生长系数和拐点年龄是衡量鱼类生长特性的关键生物学参数。

环境因子通过地理空间特征(经纬度、海拔)与理化性质(水温、pH、溶解氧等)塑造和影响鱼类的生存与繁衍策略^[5, 6]。目前, 已有大量研究表明鱼类的生长特性、性成熟年龄及种群结构等受地理空间异质性的影响。例如, 纬度梯度引起的气候差异(如积温、光照周期)可导致同种鱼类在不同地区的生长速度^[7, 8]、群体年龄结构和初次性成熟^[9—12]存在显著差异。除地理空间因素外, 水体pH、碱度和深度等水体理化性质不仅会影响鱼类的个体大小、成熟度和繁殖力等生物学特征, 还对物种的群落^[13]

收稿日期: 2025-04-24; **修订日期:** 2025-08-14

基金项目: 农业财政专项“西南地区重点水域渔业资源与环境调查”; 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2023TD65); 南沿江城际铁路穿越太湖湖类国家级水产种质资源保护区水生生态监测及生态修复效果评估服务采购项目(常采公[2021]10039号)资助 [Supported by the Special Investigation on Fishery Resources and Environment of Key Waters in Southwest China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China; the Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2023TD65); Monitoring of Aquatic Ecology and Assessment of Ecological Restoration Effects of National Conservation Area for Cultures Germplasm Resources in Lake Gehu along the Nanjiang River Intercity Railway (CCG[2021]0039)]

作者简介: 杨云磊(2001—), 女, 硕士研究生; 研究方向为渔业资源。E-mail: 2323960028@qq.com

通信作者: 徐东坡(1982—), 男, 博士; 主要从事渔业资源保护与利用。E-mail: xudp@ffrc.cn

的组成和分布产生重要作用。湖泊的深度、生产力和水域面积影响物种的扩散分布和丰富度^[14], 而pH、碱度和叶绿素等理化指标则是影响群落分布和丰度的重要因素^[12, 13]。

鲫(*Carassius auratus*)属于鲤形目、鲤科、鲫属, 是一种适应性强、繁殖力强且生长迅速的淡水鱼类。它主要栖息于水体的中下层, 能够在多种水质条件下生存。除青藏高原地区外, 鲫广泛分布于我国的淡水湖泊、河流和沿海水域, 是典型广布种鱼类^[15]。已有研究发现, 当外部环境发生变化时, 鱼类能够通过调整代谢率、活动水平、食性和栖息地等多种策略进行适应性调整, 维持和促进其正常生长发育繁殖^[8]。本研究以鲫为研究对象, 选择了具有地理空间和理化性质差异的7个典型湖泊, 通过比较不同区域湖泊中鲫的生长特性差异, 并进一步分析地理气候环境因子(地理空间特征和理化性质)对鲫生长特性的影响, 揭示调控鲫生长特性的主要环境因子。为深入研究鲫生长特性及其与环境因子之间的内在联系, 对已发表文献达里湖、鄱阳湖等7个湖泊的相关数据进行系统梳理, 以此作为本研究的重要辅助支撑。探究环境因子对鱼类生长发育的影响, 不仅有助于揭示鱼类生态适应机制, 还为未来气候变化下渔业资源的可持续利用和水生生态系统的保护提供了科学依据, 对维护水生生态系统的平衡和生物多样性具有深远意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域

本研究选取中国不同区域具有代表性的7个湖泊, 地理范围覆盖北纬 24°2′—43°07′, 东经 100°03′—126°45′, 包括东北地区的松花湖、西北地区的乌梁素海、华北地区的衡水湖、长江中下游地区的洪泽湖、高邮湖和太湖, 以及西南地区的洱海(图 1), 具体湖泊参数如表 1 所示。本研究涵盖的湖泊具有不同的地理特征、水体类型及生态环境, 代表了中国典型的湖泊生态系统, 为探讨环境因子对鱼类生长特性的影响提供了良好的研究基础。

1.2 样品采集和环境参数检测

本研究分别对不同年份的7个湖泊进行采样调查, 具体采样地点、时间及频率, 如表 2 所示。样本主要采用刺网和地笼进行捕捞, 收集鲫样本后冷冻保存于保温箱内, 随后带回实验室进行鉴定。样品进行体长和体重测定, 采用数显游标卡尺和电子天平测量, 数据分别精确到 0.01 mm 和 0.01 g。

本研究使用14个地理空间参数和12个理化参数指标量化各水域的地理环境。地理环境空间参

数包括经度(E)、纬度(N)、海拔(Alt)、水域面积(年最大水平; WA)、水深(年平均水平; D)、蓄水量(年最大水平; WS)、冰封期(ICP)、进水型湖泊(WI)、地形(TE)、水体(W)、水质(WQ)、岸线(SL)、岸线发育系数^[16](SDI)、综合营养指数^[17](CNI); 水体理化参数包括气温(T)、水温(WT)、叶绿素(Chl.a)、酸碱度(pH)、溶解氧(DO)、浊度(Ntu)、透明度(SD)、总氮(TN)、氨氮(NH₃N)、亚硝酸盐氮(NO₂N)、总磷(TP)、高锰酸钾指数(COD_{Mn})指标(表 3)。其中T、WT、DO、Ntu、pH和SD物理参数指标采用多参数水质现场快速分析测量仪现场测定(HI9804NE), Chl.a、TN、NH₃N、NO₂N、TP和COD_{Mn}等化学指标, 现场采集水样, 根据《水和废水监测分析方法》(第四版)进行实验室分析测定。如Chl.a采用乙醇提取—分光光度法; TN采用碱性过硫酸钾消解法; NH₃N采用纳氏试剂法等。环境气候数据均来自中国数据气象网和各地区年度气候公报。

1.3 数据统计与分析

生长参数的计算

(1)运用幂函数方程拟合鲫的体长与体重的关系:

$$W = aL^b$$

式中, W 为样本的体质量; L 为样本的体长; a 和 b 为生长参数, 一般将 a 称为生长的条件因子, b 称为幂指数系数(b 值与3进行比较)。

(2)用FiSAT II 中的体长频率分析法进行生长系数 k 和渐进体长 L_{∞} 的估算。

(3)理论的生长起点年龄(t_0)可根据Pauly^[18]的经验公式计算。

$$\ln(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \ln L_{\infty} - 1.038 \ln K$$

拐点年龄(t_1):

$$t_1 = \ln b / K + t_0$$

(4)生长性能指数(φ'):

运用生长性能指数(φ')来衡量鱼类的总体生长表现, 计算公式:

$$\varphi' = \lg K + 2 \lg L_{\infty}$$

数据分析 本研究采用ArcGIS 10.8软件绘制湖泊时空分布图及湖泊轮廓。使用R语言(4.2.1)进行主坐标分析(Principal Coordinates Analysis, PCoA)以可视化不同湖泊之间和环境因子的分布差异。采用IBM SPSS Statistics 26.0中的单因素方差(One-way Analysis of Variance, ANOVA)和斯皮尔曼分析方法(Charles Edward Spearman, Spear-

man), 探讨不同湖泊的鲫生物学数据的差异性及生长参数和地理气候环境条件的关系。进一步为探究不同环境参数与鲫生长参数的影响及显著性关系, 通过皮尔逊分析 (Pearson Correlation Coefficient, Pearson) 和曼特尔检验 (Mantel Test) 分析方法进行检验。最后利用冗余分析 (Redundancy analysis, RDA) 确定筛选影响鲫生长参数的关键环境因子, 应用 Canoco 5.0 进行去趋势对应分析 (Detrended correspondence analysis, DCA), 若第一轴特征值大

于 4.0, 则选择典型相关分析 (Canonical correlation analysis, CCA); 若小于 3.0, 则选择 RDA 分析。在本研究中, DCA 结果均小于 3.0, 因此采用线性模型 RDA 进行排序分析。

2 结果

2.1 不同区域鲫的生长发育情况

体长与体重的分布 各湖泊鲫的样本数、体长和体重等生物学数据 (表 4)。在本研究中, 高邮

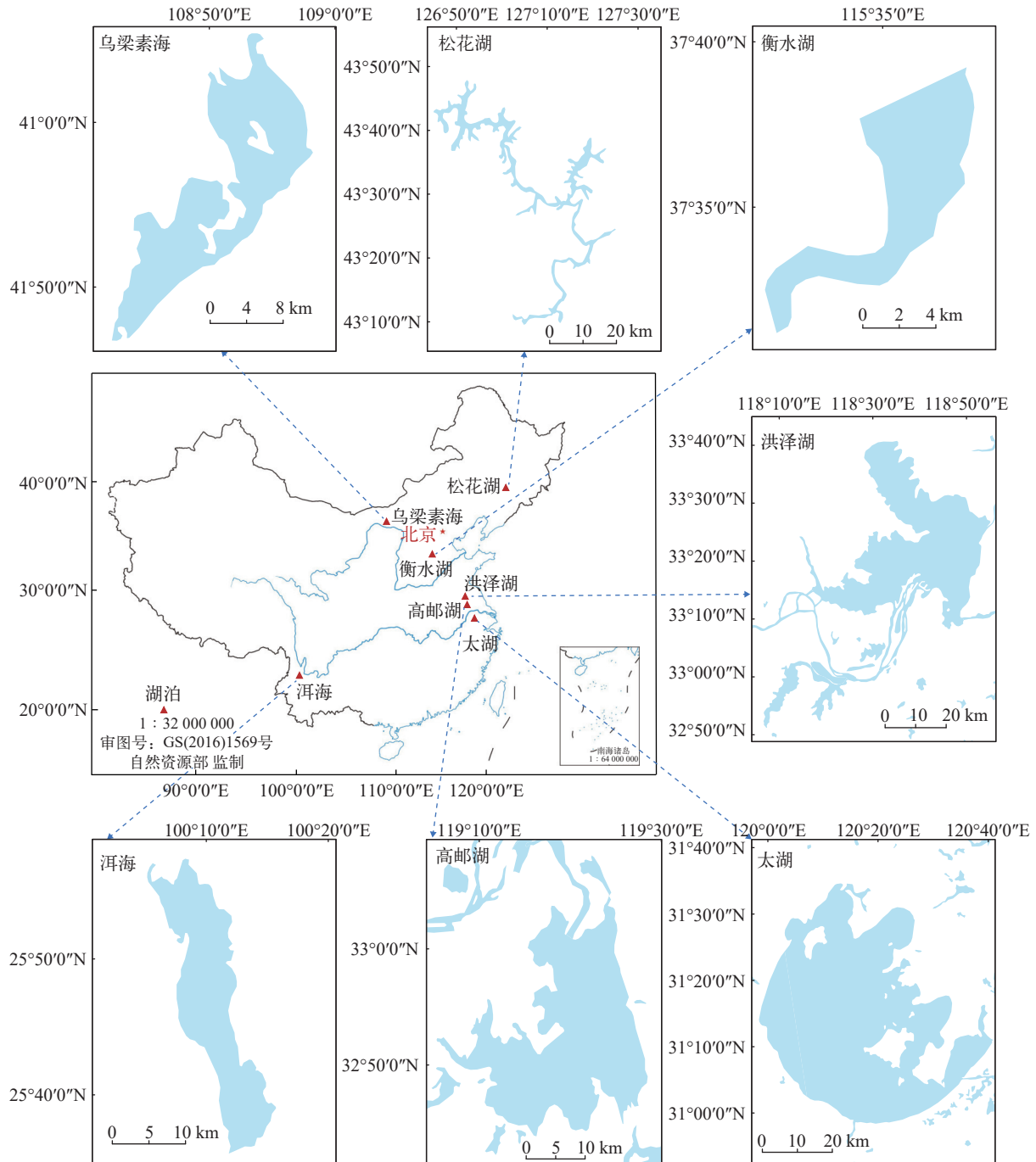


图 1 各湖泊地理分布图

Fig. 1 Geographical distribution map of lake

湖鲫平均体长最大(162.08±27.43) mm, 依次为洪泽湖(157.49±23.29) mm、衡水湖(147.49±36.97) mm、洱海(137.88±37.08) mm、太湖(130.81± 32.00) mm, 松花湖(127.21±53.69) mm和乌梁素海(100.58±33.84) mm平均体长最小。从平均体重上看, 高邮湖鲫平均体重最大(165.37±73.45) g, 其次为洪泽湖(126.98±71.02) g、衡水湖(122.01±104.33) g、松花湖(106.41±106.43) g、洱海(103.77±71.55) g, 最后

为太湖(93.96±82.09) g和乌梁素海(41.74±42.74) g 平均体重最小。对各湖泊体长和体重数据进行单因素方差分析发现, 7组湖泊平均体长存在极显著差异($P<0.001$), 平均体重存在显著差异($P<0.05$)。

体长与体重的关系 对各湖泊渔获物进行体长-体重关系进行拟合, 计算鲫的肥满度及生长条件系数 a 和幂指数 b (表 5 和图 2)。系数 a 反映了饵料基础和水文环境对鱼类生长的支持能力, 数

表 1 各湖泊地理参数指标
Tab. 1 Geographical parameter indicators of each lake

湖泊 Lake	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude	平均深度 Average depth (m)	最大蓄水量 Maximum water storage capacity (km ³)	水质 Water quality	综合营养 指数 Comprehensive Nutrition Index	地位 Position
松花湖 Songhua Lake	43°07'— 43°50'	126°45'— 127°38'	196	30—40	1.09×10 ⁹	Ⅲ	52.70	由筑坝拦江形成的水库型湖泊, 是东北地区最大的人工湖泊。
乌梁素海 Wuliangsu Lake	40°36'— 41°03'	108°43'— 108°57'	1018	1.20	3.00×10 ⁸	Ⅳ	47.18	改道而形成的河迹湖, 是黄河流域最大的湖泊湿地
衡水湖 Hengshui Lake	37°31'— 37°41'	115°27'— 115°42'	21	1.75	1.88×10 ⁸	Ⅲ	62.57	南水北调的关节点, 重点保护水域。
洪泽湖 Hongze Lake	33°06'— 33°40'	118°10'— 118°52'	10.5	1.90	2.44×10 ⁹	Ⅲ	55.20	均为我国著名淡水湖泊, 国家级重点保护水域。
高邮湖 Gaoyou Lake	32°42'— 33°41'	119°06'— 119°25'	15	2.04	8.90×10 ⁸	Ⅳ	55.40	
太湖 Taihu Lake	30°05'— 31°32'	119°52'— 120°36'	3.3	1.89	4.40×10 ⁸	Ⅳ	52.00	
洱海 Erhai	24°40'— 25°44'	100°03'— 100°42'	1972	10.80	2.95×10 ⁹	Ⅱ	43.25	云南省第二大湖泊, 属于高原构造断陷湖泊。

表 2 各湖泊具体采样表
Tab. 2 Specific sampling tables for each lake

湖泊Lake	采样时间Sampling time	采样季节Sampling season	采样频率Sampling frequency
松花湖Songhua Lake	2022年6、9月	春夏	1年2次
乌梁素海Wuliangsu Lake	2023年6、8月	春夏	1年2次
衡水湖Hengshui Lake	2023年2、8、10月	夏秋冬	1年3次
洪泽湖Hongze Lake	2023年4月、10月	春夏	1年2次
高邮湖Gaoyou Lake	2022年2、8、10月	夏秋冬	1年3次
太湖Taihu Lake	2017年2、8、10月	夏秋冬	1年3次
洱海Erhai	2023年8、10月和2024年2月	夏秋冬	1年3次

表 3 各湖湖泊水体理化部分参数
Tab. 3 Physical and chemical parameters of the water bodies in each lake

湖泊 Lake	叶绿素Chl.a	酸碱度 pH	溶解氧 DO	浊度 Ntu	透明度 SD	总氮 TN	氨氮 NH ₃ -N	亚硝酸盐氮 NO ₂ ⁻ -N	总磷 TP	高锰酸钾指数 COD _{Mn}
松花湖Songhua Lake	10.68	8.48	9.78	49.08	79.83	2.26	0.20	0.02	0.05	4.69
乌梁素海Wuliangsu Lake	7.89	8.69	9.52	5.81	109.47	1.45	0.78	0.23	0.06	4.42
衡水湖Hengshui Lake	14.80	8.19	10.33	18.06	43.18	0.95	0.30	0.03	0.53	6.14
洪泽湖Hongze Lake	15.50	8.26	8.95	37.43	42.00	2.01	0.44	0.06	0.10	4.20
高邮湖Gaoyou Lake	8.23	9.24	11.07	65.31	20.03	0.83	0.13	0.01	0.06	4.74
太湖Taihu Lake	28.33	8.80	8.41	44.10	42.06	2.03	0.25	0.05	0.11	4.50
洱海Erhai	18.46	8.04	7.44	4.89	151.67	0.80	0.14	0.02	0.05	5.31

表 4 各湖泊鲫的样本数及生物学指标

Tab. 4 The sample size and biological indicators of crucian carp in each lake

湖泊 Lake	样本数(尾) Sample size (tail)	体长 Body length (mm)	体重 Weight (g)	平均体长 Average body length (mm)	平均体重 Average weight (g)
松花湖Songhua Lake	261	37.78—223.99	0.93—407.96	127.21±53.69 ^c	106.41±106.43 ^{ab}
乌梁素海Wuliangsu Lake	425	35.13—189.46	0.96—221.65	100.58±33.84 ^d	41.74±42.74 ^a
衡水湖Hengshui Lake	252	82.63—239.85	5.26—641.94	147.49±36.97 ^b	122.01±104.33 ^b
洪泽湖Hongze Lake	479	79.36—252.58	13.60—460.70	157.49±23.29 ^a	126.98±71.02 ^b
高邮湖Gaoyou Lake	291	33.92—235.22	5.86—205.43	162.08±27.43 ^a	165.37±73.45 ^c
太湖Taihu Lake	356	34.02—232.50	0.88—556.67	130.81±32.00 ^c	93.96±82.09 ^a
洱海Erhai	382	37.01—250.32	1.28—538.35	137.88±37.08 ^c	103.77±71.55 ^{ab}

注: 平均数后上标不同表示差异显著($P<0.05$), 极显著差异($P<0.001$)

Note: Different superscript letters after the average indicate significant difference ($P<0.05$), extremely significant difference ($P<0.001$)

表 5 各湖泊鲫体长-体重方程拟合关系式

Tab. 5 Fitting equations of body length and body weight equations of *Carassius auratus* in each lake

湖泊Lake	R^2	拟合关系式 Regression equation
松花湖Songhua Lake	0.95	$W=1.36 \times 10^{-5} L^{3.13}$
乌梁素海Wuliangsu Lake	0.98	$W=1.46 \times 10^{-5} L^{3.15}$
衡水湖Hengshui Lake	0.85	$W=1.55 \times 10^{-5} L^{3.14}$
洪泽湖Hongze Lake	0.85	$W=1.67 \times 10^{-5} L^{3.12}$
高邮湖Gaoyou Lake	0.89	$W=2.08 \times 10^{-5} L^{3.07}$
太湖Taihu Lake	0.86	$W=4.08 \times 10^{-5} L^{2.96}$
洱海Erhai	0.97	$W=2.59 \times 10^{-5} L^{3.05}$

值越大, 表明环境更有利于个体生长。在本研究中, 各湖泊鲫的 a 值从大到小依次为太湖(4.08×10^{-5})、洱海(2.59×10^{-5})、高邮湖(2.08×10^{-5})、洪泽湖(1.67×10^{-5})、衡水湖(1.55×10^{-5})、乌梁素海(1.46×10^{-5})和松花湖(1.36×10^{-5})。幂指数 b 反映了鱼类的生长模式, 当 b 介于2.9和3.1之间时, 表示鱼类呈匀速生长; 当 $b<2.9$ 时, 为负异速生长类型; $b>3.1$ 为正异速生长类型^[19]。本研究结果显示, 纬度较低的洱海、高邮湖和太湖鲫均呈现匀速生长, b 值分别为3.05、3.07和2.96, 而纬度较高的松花湖、乌梁素海、衡水湖和洪泽湖的鲫呈现正异速生长, b 值分别为3.13、3.15、3.14和3.12。

生长系数、渐进体长及拐点年龄 本研究通过分析松花湖、乌梁素海、洱海、衡水湖、洪泽湖、高邮湖及太湖7个湖泊鲫的生长参数(表6), 探究了不同地理气候环境下鲫的生长特性差异。生长系数通常用于描述鱼类在特定时间内的生长模式或生长速率。研究结果显示, 洪泽湖的鲫生长系数最大, 为0.97, 其次为衡水湖和洱海, 分别为0.78和0.71, 太湖和高邮湖为0.64和0.53, 乌梁素海和松花湖最小, 分别为0.48和0.33。渐进体长是鱼类理论上的生长极限体长, 能够用于比较不同水域

鱼类的生长性能^[20]。7个湖泊的鲫在渐进体长存在差异, 渐进体长最大为洱海(278.25 mm), 其后依次为松花湖(262.50 mm)、乌梁素海(260.75 mm)、高邮湖(257.25 mm), 而衡水湖与太湖均为246.75 mm, 洪泽湖最小(243.50 mm); 拐点年龄最大为松花湖(2.99), 随后为乌梁素海(2.08)和高邮湖(1.84), 太湖(1.46)、洱海(1.37)、衡水湖(1.27)及洪泽湖(1.02)依次递减; 通过分析发现, 衡水湖和乌梁素海的生长性能指数最大为4.76和4.74, 依次为洪泽湖、太湖、高邮湖、洱海, 分别为4.68、4.59、4.54和4.51, 最小的为松花湖, 指数为4.36。上述参数差异揭示了不同水域环境(如营养水平、温度、捕捞压力)对鱼类生长策略的调控作用。

2.2 环境因子与生长参数的相关性分析

通过曼特尔检验分析鲫生长参数和地理气候环境条件之间的相关性, r 表示相关性, 相关系数越大, P 值越小, 地理气候环境因子对鲫生长参数(渐进体长、生长系数、拐点年龄、条件因子和生长指数)的影响越大, 结果显示两者之间呈显著正相关($r=0.71$, $P<0.05$)。其中渐进体长与Alt和SD因子显著相关($P<0.05$), 并与E、TE、WQ、CNI和DO呈正相关; 条件因子和生长指数与WS和Chl.a呈现显著相关($P<0.05$), 且均与WA呈正相关关系(图3)。

RDA结果如图4和表7所示, 前两轴累计解释率为99.97% (轴1占99.74%, 轴2占0.23%)。其中, Alt (65.9%)、Ntu (20.8%)、SDI (10.5%)、E、pH和D是影响鲫生长参数的主要驱动因子。拐点年龄与pH、Alt呈正相关, 与SDI、E和D呈负相关; 渐进体长与Alt正相关性最大, 其次为SDI、D, 与pH、Ntu负相关; 生长系数与Ntu和E的正相关性最大, 其次为SDI和D, 与pH和Alt呈负相关; 生长指数与E、SDI和D正相关, 与Ntu、pH和Alt呈负相关。显著性检验分析表明, 环境因子中Alt和SDI影响显著($P<0.05$), Ntu、E、pH不显著。综合分析, 相较于

理化指标,地理空间对鲫生长发育的影响更大。

3 讨论

本研究通过分析地理气候环境具有显著差异的7种湖泊鲫的生长参数(体长-体重关系、生长系数 k 、渐进体长 L_{∞} 及拐点年龄 t_1 的分布情况),揭示了地理气候环境与生态理化因素对鱼类生长策略的调控。研究发现,鲫的生长参数受地理空间因子(Alt、E、SDI)与水体理化特性(Ntu、pH、D)协同调控。其中,地理空间因子(海拔和岸线发育系数)对鲫生长的影响最为显著,这一发现与Zhang等^[21]的研究相一致,后者发现经度、离大陆距离等地理空间因子对鱼类群落季节多样性的改变影响最为显著。此外,杨健等^[22]对中国西部16个湖泊的微生物群落组成的调查发现,相较于环境因子,空间因子对微生物分布的影响更为显著。这一趋势在湖泊水生和沉积微生物群落的研究中同样得到了验证^[23]。

在不同海拔高度下,水温、溶氧、食物资源、人为活动等存在显著差异,从而调控鱼类生长速率及体型变化^[24, 25]。本研究表明,海拔与渐进体长呈

显著正相关,与拐点年龄呈正相关,而与生长系数 k 和生长指数 b 呈负相关。已有研究表明,低海拔地区的鱼类体型较小^[24],这可能与低海拔区域较高的温度及丰富的食物资源密切相关^[26]。此外,海拔不仅影响个体生长发育^[27],还是驱动湖泊鱼类空间多样性的关键环境因子,在高原湖泊(洱海、乌梁素海)中,水体营养输入和生物多样性少,物种空间隔离效应显著^[28]。部分高纬度高海拔湖泊如青海湖等全年水温较低,水温等无明显季节性变化,鱼类的生长周期较短,繁殖发育能力受限。相比之下,平原湖泊(衡水湖、洪泽湖、高邮湖和太湖)多为富营养型湖泊,季节性变化显著,生态群落丰富,鲫的生长参数呈现出平均体长较大、生长系数大,渐进体长小和拐点年龄小的特征。然而,由于各湖泊的水文条件、鱼类群落结构和保护政策的不同,其生长速度和拐点年龄差异显著。例如,太湖在禁渔政策的影响下,且其鱼类群落结构中肉食性鱼类占比大^[29],捕食压力较大,可能导致鲫呈现平均体长偏小、生长系数较低和渐进体长较小的生长特点。

岸线发育系数是衡量岸线自然状态和人为干扰程度的重要指标^[28],通过影响鱼类的栖息地质

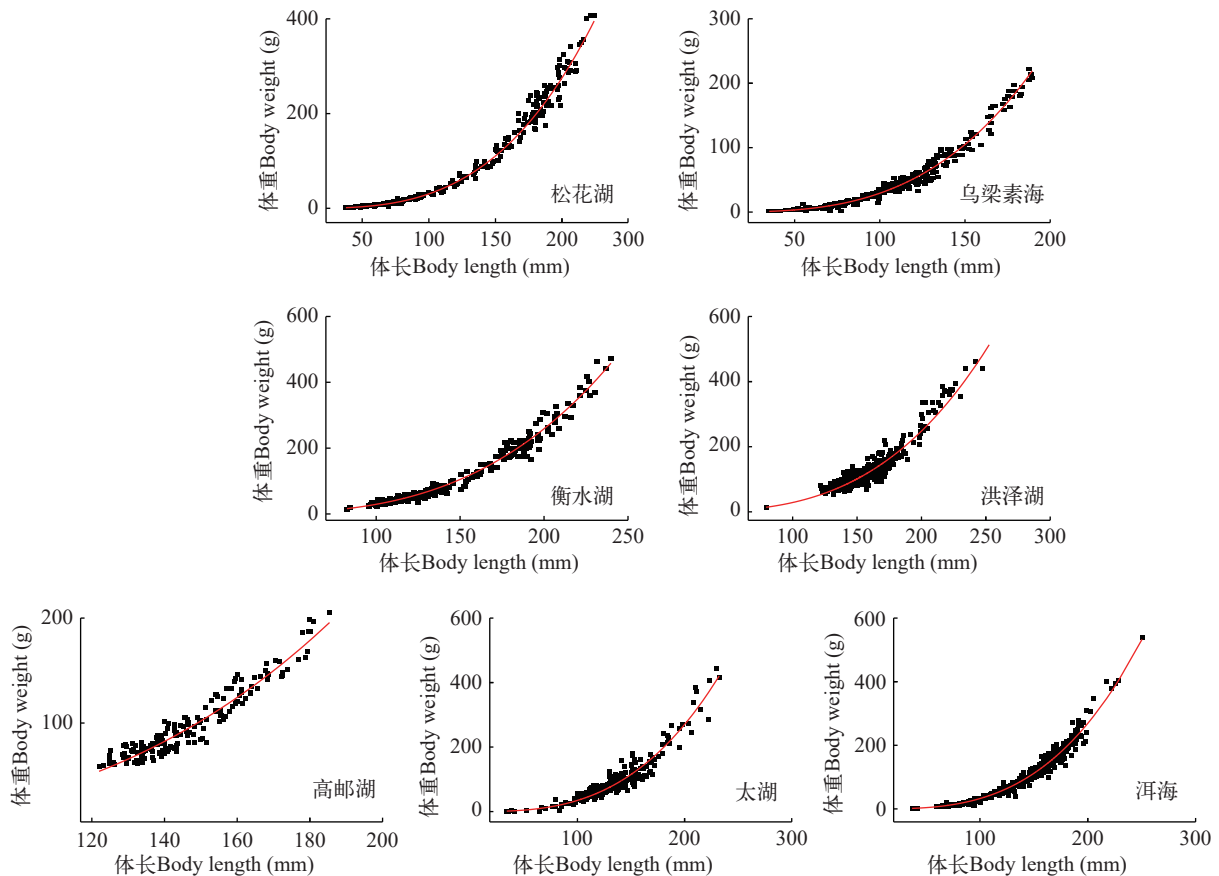


图2 各湖泊鲫体长与体重方程拟合图

Fig. 2 Fitting graphs of *Carassius auratus* body length and body weight equations in each lake

量、食物资源及周边生态环境,对鱼类的生长发育产生重要影响^[30]。岸线发育系数较高的区域通常具有更多的湖湾和开阔水域,岸线曲折程度大,有利于营养物质输入,提供良好的生物环境,生态环境好,沿岸带的生物群落更多样性,初级生产力提高^[31],为鱼类提供适宜的生长环境。在本研究中,岸线发育系数与渐进体长 L_{∞} 、生长系数 k 、生长指

表 6 各湖泊鲫的生长参数指标

Tab. 6 Growth parameters of *Carassius auratus* in each lake

湖泊 Lake	渐进体长 Asymptotic length L_{∞}	生长系数 Growth coefficient K	拐点年龄 Inflection age t_1	生长性能 指数 Growth performance index ϕ'
松花湖 Songhua Lake	262.50	0.33	2.99	4.36
乌梁素海 Wuliangsu Lake	260.75	0.48	2.08	4.74
衡水湖 Hengshui Lake	246.75	0.78	1.27	4.76
洪泽湖 Hongze Lake	243.50	0.97	1.02	4.68
高邮湖 Gaoyou Lake	257.25	0.53	1.84	4.54
太湖Taihu Lake	246.75	0.64	1.46	4.59
洱海Erhai	278.25	0.71	1.37	4.51

数 b 呈正相关关系,与拐点年龄 t_1 呈负相关。在本研究湖泊中,松花湖、乌梁素海、衡水湖和洱海的岸线发育系数较高,湖泊岸线曲折程度较为复杂,为生物提供更多的栖息地和索饵场,且湖泊水质、透明度、营养物质含量较高,促进鲫生长发育繁殖。此外,岸线发育系数与鱼类种群数量之间也存在一定的相关性^[32, 33],在博斯腾湖的研究中,将岸线的动态变化表征湖泊的生态变化,发现岸线变化对鱼类资源产生了显著影响^[16],但目前相关研究相对较少,仍需要进一步研究和探讨。

经纬度通过影响温度^[34]等外部环境因子,影响生物的生长发育^[35, 36],呈现出空间异质性和多元化的特征。本研究表明,纬度与生长系数 k 和生长指数 b 呈正相关,与渐进体长和拐点年龄呈负相关。高纬度湖泊(如乌梁素海、松花湖)因冰封期长,适宜生长时期较短,饵料条件相对较匮乏^[37],鲫生长呈现高代谢率、正异速生长、低生长系数、大渐进体长和高拐点年龄的特点,表现出晚熟特性。而低纬度湖泊(如洱海)受益于温暖气候,且湖泊平均深度较大,水温条件稳定,饵料基础和水文环境条件好,为饵料生物和鱼类提供了优越的生长环境^[38],使得鲫呈现匀速生长、生长系数高和拐点年龄小等生长特性。本研究与已有研究的低纬度地区鱼类体型较小且生长较快,而高纬度地区的鱼类体型

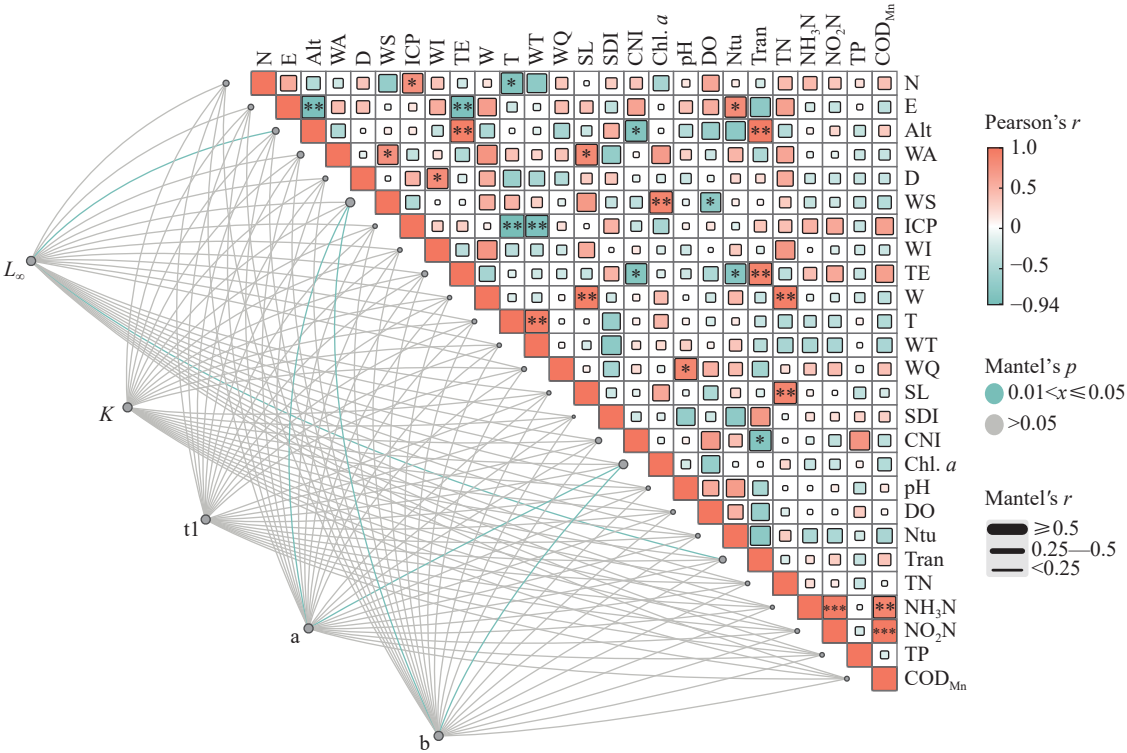


图 3 生长参数与环境因子间交叉性相关性图

Fig. 3 Graph of cross-correlation between growth parameters and environmental factors

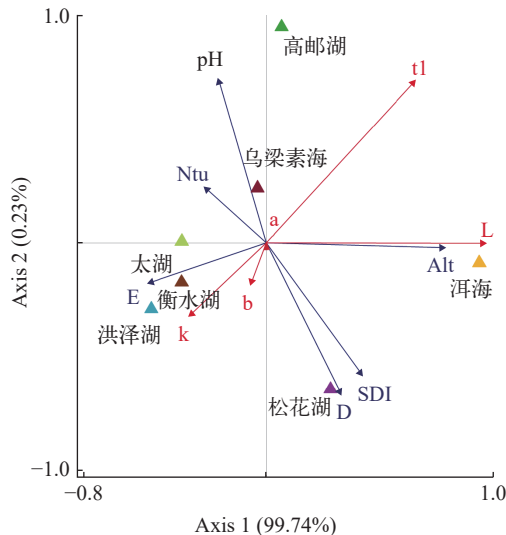


图4 环境因子与生长参数冗余分析图

Fig. 4 Redundancy analysis diagram of environmental factors and growth parameters

表7 环境因子和生长参数冗余分析结果

Tab. 7 Results of RDA between growth parameters and environmental factors

排序轴 Ordination axis	特征值 Eigenvalue	贡献率 Explained variance (%)
第一排序轴 First ordination axis	0.9974	99.74
第二排序轴 Second ordination axis	0.0023	99.97
第三排序轴 Third ordination axis	0.0003	100

较大且生长缓慢的结论一致^[39, 40]。温度不仅可以影响鱼类的生长发育和生存率^[41], 而且对鱼卵、仔稚鱼^[42]的产卵场的选择和螺类的群落结构^[43]分布也均产生不同程度影响。

此外, 本研究通过文献记载的达里湖、鄱阳湖等7个湖泊鲫的生长参数指标, 采用斯皮尔曼相关性进一步验证了鲫渐进体长与海拔呈显著正相关关系($P < 0.05$)。然而, 由于存在时间跨度大、分析方法(软件)、样本数量、采样频率存在差异, 尚无法进行更精确的分析。因此, 未来研究应在确保数据可比性的前提下, 规范鱼类样本数量及采样频率, 制定统一的采样标准, 并结合湖泊生态特征灵活调整, 以提升数据的科学性和可靠性。

4 结论

本研究发现, 鲫生长发育受海拔、浊度、岸线发育系数、纬度、酸碱度和深度等环境因子的影响, 其中海拔和岸线发育系数影响最为显著。分析表明, 海拔与渐进体长呈显著正相关, 与拐点年龄

呈正相关, 与生长系数和生长指数呈负相关; 岸线发育系数与渐进体长、生长系数、生长指数呈正相关关系, 与拐点年龄呈负相关。综合分析得出, 地理空间因子对鲫生长参数的影响尤为重要。近年来, 为探究气候变化与环境因子之间的相互作用, 从单一环境因子的深入研究到多个因子交互作用的探索, 以及研究方法的不断创新, 为鱼类的生长发育机制提供了丰富的理论基础。在未来复杂的气候变化中, 环境因子如何与生物因素(如种间竞争、捕食关系等)共同影响鱼类的生长发育, 如何更准确地预测环境变化对鱼类种群动态的长期影响等一系列问题仍需要进一步研究。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Huang J, Liao S, Su Y, *et al.* Effects of temperature on ovarian development of mandarin fish (*Siniperca chuatsi*) and hormone therapy to induce its ovulation out of breeding season [J]. *Aquaculture Reports*, 2024(37): 102271.
- [2] Wang Z P, Li J X, Fillion D, *et al.* Research progress on the effects of climate change on salmon abundance and reproduction [J]. *Marine Sciences*, 2019, 43(4): 98-104. [王志萍, 李家薰, Fillion D, 等. 气候变化对鲑鱼丰富度和繁殖影响的研究进展 [J]. *海洋科学*, 2019, 43(4): 98-104.]
- [3] Davis T R, Cadiou G, Champion C, *et al.* Environmental drivers and indicators of change in habitat and fish assemblages within a climate change hotspot [J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2020(36): 101295.
- [4] Wang K, Zhang C L, Wang J, *et al.* Spatial heterogeneity of growth traits of four fish species in the Haizhou Bay [J]. *Haiyang Xuebao*, 2019, 41(12): 62-70. [王琨, 张崇良, 王晶, 等. 海州湾4种鱼类生长特征的空间异质性 [J]. *海洋学报*, 2019, 41(12): 62-70.]
- [5] Eunice M, Yongo E, Liu Q, *et al.* Spatial and seasonal dynamics of zooplankton functional groups and their relationship with environmental factors in urban rivers in Haikou City, China [J]. *Limnologia*, 2024(108): 126200.
- [6] Anas M U M, Mandrak N E. Drivers of native and non-native freshwater fish richness across North America: Disentangling the roles of environmental, historical and anthropogenic factors [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2021(30): 1232-1244.
- [7] Li Q, Zhao J, Zhong L M, *et al.* The study of growth of *Hemiculter leucisculus* in the Beijiang River, Guangdong [J]. *Journal of Guangzhou University*, 2009, 8(4): 38-41. [李强, 赵俊, 钟良明, 等. 北江(*Hemiculter leucisculus*)生长研究 [J]. *广州大学学报*, 2009, 8(4): 38-41.]
- [8] Sun H H, Zhu R, Feng X, *et al.* Adaptation in life-history traits of exotic *Topmouth gudgeon* from wetlands in Xizang Autonomous Region [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, 46(12): 1780-1787. [孙欢欢, 朱仁, 冯秀,

- 等. 西藏湿地外来麦穗鱼生活史特征的适应性研究 [J]. *水生生物学报*, 2022, **46**(12): 1780-1787.]
- [9] Zhang L, Meng H P, Li Z M, *et al.* Population characteristics of golden (Chinese) carp *Carassius auratus* (Linnaeus) in Dali lake [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, **22**(S3): 128-130. [张利, 孟和平, 李志明, 等. 达里湖鲫鱼的种群特征 [J]. *华北农学报*, 2007, **22**(S3): 128-130.]
- [10] Li H J, Li K T, Chu Z J. Studies on age and growth of crucian carp from Nanwan [J]. *Journal of Xinyang Natural University*, 2006(2): 188-190. [李红敬, 李坤陶, 储张杰. 南湾鲫鱼年龄与生长的研究 [J]. 信阳师范学院学报, 2006(2): 188-190.]
- [11] Yin M C. Investigation on the biology and propagation of caucian carp in Taihu [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1993, **28**(4): 11-16. [殷名称. 太湖鲫鱼生物学调查和增殖问题 [J]. 动物学杂志, 1993, **28**(4): 11-16.]
- [12] Cao Y P, Shi J. The biology analysis of *Crucian carp* in Baiyangdian lake after restoring water [J]. *Journal of Hebei University*, 1996, **16**(1): 53-58. [曹玉萍, 石军. 重新蓄水后的白洋淀鲫鱼的生物学分析 [J]. 河北大学学报, 1996, **16**(1): 53-58.]
- [13] Liu J, Xu X, Zhou L, *et al.* Analysis of the spatial differentiation characteristics of fish community structures in different water body types in the upper reaches of the Taihu Lake Basin based on environmental DNA technology [J]. *Aquatic Ecology*, 2025, **59**(2): 523-539.
- [14] Harrison T D, Whitfield A K. A global functional analysis of fish-estuary associations and selected environmental factors [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2024(34): 805-825.
- [15] Yang B W, Qi F, Han X, *et al.* Study on growth and resource characteristics of *Carassius auratus* in Fukang reservoir, Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2022(1): 35-37. [杨博文, 祁峰, 韩璇, 等. 新疆阜康水库鲫生长与资源特征研究 [J]. *新疆农业科技*, 2022(1): 35-37.]
- [16] Adila Y, Li X G. Dynamic changes of lake shoreline in the great lakesregion of Bosten Lake from 1977 to 2021 [J]. *Journal of Water Resources& Water Engineering*, 2024, **35**(2): 99-106. [阿迪拉·亚尔买买提, 李新国. 1977—2021年博斯腾湖大湖区湖岸线动态变化 [J]. *水资源与水工程学报*, 2024, **35**(2): 99-106.]
- [17] Wang M C, Liu X Q, Zhang J H. Evaluate method and classification standard on lake eutrophication [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2002, **18**(5): 47-49. [王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准 [J]. *中国环境监测*, 2002, **18**(5): 47-49.]
- [18] Pauly D. Theory and management of tropical multi-species stocks: a review, with emphasis on the Southeast Asian demersal fisheries [J]. *Working Papers*, 1979, **26**(5): 22-29.
- [19] Gu H J, Huang L M, Li J, *et al.* Estimation of growth and mortality parameters of two dorosomatinae fishes in Jiulong River Estuary [J]. *Journal of Jimei University*, 2013, **18**(6): 401-407. [顾洪静, 黄良敏, 李军, 等. 九龙江口亚科两种鱼类生长和死亡参数的估算 [J]. 集美大学学报, 2013, **18**(6): 401-407.]
- [20] Xiong F, Liu H Y, Duan X B, *et al.* Age and growth of *Hypophthalmichthys molitrix* in Jiangjin of the upper reaches of the Yangtze River [J]. *Journal of Southwest University*, 2013, **35**(3): 28-35. [熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游江津江段鲢种群的年龄和生长特征 [J]. 西南大学学报, 2013, **35**(3): 28-35.]
- [21] Zhang P Z, Kong Y, Wang L, *et al.* Using alpha, beta, and zeta diversity to map the structure and function of fish community in the central East China Sea [J]. *Hydrobiologia*, 2025(852): 147-168.
- [22] Yang J, Jiang H C, Wu G, *et al.* Distinct factors shape aquatic and sedimentary microbial community structures in the lakes of Western China [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2016(7): 1-8.
- [23] Zhang Y, Zhang J, Wang L, *et al.* Influences of dispersal and local environmental factors on stream macroinvertebrate communities in Qinjiang River, Guangxi, China [J]. *Aquatic Biology*, 2014(20): 185-194.
- [24] Symons C C, Schulhof M A, Cavalheri H B, *et al.* Antagonistic effects of temperature and dissolved organic carbon on fish growth in California mountain lakes [J]. *Oecologia*, 2019, **189**(1): 231-241.
- [25] Jojo S, Atmadi V P, Zenal O A, *et al.* Countergradient variation in growth of barb domesticated at different altitudes [Z]. *Indonesian Aquaculture Journal*, 2018, **13**(1): 7-7.
- [26] Chen Y Z, Zhu F Y, Liu M D, *et al.* Age structure and growth characteristics of *Schizopygopsis thermalis* in the upper Nuijiang River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2022, **43**(4): 111-118. [陈一竹, 朱峰跃, 刘明典, 等. 怒江上游热裂尻鱼年龄结构与生长特性 [J]. 水生生态学杂志, 2022, **43**(4): 111-118.]
- [27] Carlos C, Johannes R, Gaël G, *et al.* Phylogenetic signal and evolutionary relationships among traits of inland fishes along elevational and longitudinal gradients [J]. *Freshwater Biology*, 2022, **67**(5): 912-925.
- [28] Iacarella J C. Fish zeta diversity responses to human pressures and cumulative effects across a freshwater basin [J]. *Diversity and Distributions*, 2022, **28**(4): 830-843.
- [29] Sheng P, Yang M, Shi Z N, *et al.* Characteristics of fish community structure and environmental driving factors in Taihu Lake during the first year of fishing ban [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, **34**(9): 2555-2565. [盛漂, 阳敏, 石智宁, 等. 太湖禁捕当年鱼类群落结构及环境驱动因子 [J]. 应用生态学报, 2023, **34**(9): 2555-2565.]
- [30] Seekell D, Cael B. Bias in the shoreline development index: Ecological implications illustrated with an analy-

- sis of littoral-pelagic habitat coupling [J]. *Limnologica*, 2024(106): 126173.
- [31] Wang J L. Study on shoreline characteristics and temporal and spatial evolution of ecological environment of Yilong Lake based on remote sensing images [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2023: 25-30. [王俊霖. 基于遥感影像的异龙湖岸线特征及生态环境时空演变研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2023: 25-30.]
- [32] Lewin W C, Mehner T, Ritterbusch D, *et al.* The influence of anthropogenic shoreline changes on the littoral abundance of fish species in German lowland lakes varying in depth as determined by boosted regression trees [J]. *Hydrobiologia*, 2014, **724**(1): 293-306.
- [33] Gittman R K, Peterson C H, Currin C A, *et al.* Living shorelines can enhance the nursery role of threatened estuarine habitats [J]. *Ecological Applications*, 2016(26): 249-263.
- [34] Wang L, Chen J, Su H, *et al.* Is zooplankton body size an indicator of water quality in (Sub)tropical reservoirs in China [J]? *Ecosystems*, 2021, **25**(2): 1-12.
- [35] Frances E, Ryan R Y, Angel A B, *et al.* Temperature, season, and latitude influence development-related phenotypes of Philippine *Aedes aegypti* (Linnaeus): Implications for dengue control amidst global warming [J]. *Parasites & vectors*, 2022, **15**(1): 74-74.
- [36] Shuman L A, Selyukov A G, Nekrasov I S, *et al.* Data on length-weight and length-length relationships, mean condition factor, and gonadosomatic index of *Rutilus rutilus* and *Perca fluviatilis* from the Ob River basin, Western Siberia [J]. *Data in Brief*, 2022(42): 108067.
- [37] He M, Fang D A, Chen Y J, *et al.* Structural characteristics and influencing factors of fish larvae community in huadian section of Songhua Lake [J]. *Wetland Science*, 2023, **21**(2): 292-301. [何苗, 方弟安, 陈永进, 等. 松花湖桦甸段水域中仔稚鱼群落结构特征及其影响因素分析 [J]. 湿地科学, 2023, **21**(2): 292-301.]
- [38] Tang J F. Studies on fisheries ecology in a large Yunnan Plateau lake, Lake Erhai, China [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013: 28-38. [唐剑锋. 云南高原大型湖泊—洱海的渔业生态学研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2013: 28-38.]
- [39] Brian J V, Beresford N, Margiotta-Casaluci L, *et al.* Preliminary data on the influence of rearing temperature on the growth and reproductive status of fathead minnows *Pimephales promelas* [J]. *Journal of Fish Biology*, 2011, **79**(1): 80-88.
- [40] Chai J Y, Huang A X, Dong Y C, *et al.* The latitudinal distribution pattern and land-sea difference of fishes in Eastern China [J]. *Climate Change Research Letters*, 2025, **14**(4): 681-689. [柴家颖, 黄傲翔, 董亦陈, 等. 中国东部地区鱼类的纬向分布规律和海陆差异 [J]. 气候变化研究快报, 2025, **14**(4): 681-689.]
- [41] Braaten P J, Guy C S. Life history attributes of fishes along the latitudinal gradient of the Missouri River [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2002, **131**(5): 931-945.
- [42] Zhao P, Jiang R J, Yin R, *et al.* Species composition and relationship with environmental factors of fish eggs and larvae in Qixing Islands spawning ground reserve [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, **30**(11): 1311-1326. [赵芃, 蒋日进, 印瑞, 等. 七星列岛产卵场保护区鱼卵、仔稚鱼种类组成及其与环境因子的关系 [J]. 中国水产科学, 2023, **30**(11): 1311-1326.]
- [43] Lu Z H, Zhu W B, Xu K D, *et al.* Community structure of snails and its relationship with environmental factors along Zhejiang coast in spring [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, **42**(3): 606-615. [卢占晖, 朱文斌, 徐开达, 等. 浙江沿岸海域春季螺类群落结构特征及其与环境因子的关系 [J]. 水生生物学报, 2018, **42**(3): 606-615.]

GROWTH CHARACTERISTICS AND ENVIRONMENTAL INFLUENCING FACTORS OF DIFFERENT GEOGRAPHICAL POPULATIONS OF *CARASSIUS AURATUS*

YANG Yun-Lei^{1,2}, CHEN Yong-Jin², XUE Xue², LIANG Yi-Dong^{1,2}, FANG Yu-Hang^{1,2} and XU Dong-Po^{1,2}

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: To explore the relationship between the growth characteristics and environmental factors of *Carassius auratus*, this study selected seven lakes with significant geographical differences (Songhua Lake, Wuliangsu Lake, Hengshui Lake, Hongze Lake, Gaoyou Lake, Taihu Lake, and Erhai). Based on growth parameters including the length-weight relationship, growth coefficient (k), asymptotic length (L_{∞}), and inflection age (t_1), it quantitatively assessed the growth and development of *C. auratus* in different waters. Furthermore, methods such as Mantel test, Spearman correlation, and redundancy analysis were employed to analyze the impact of environmental factors on their growth. The results showed that: (1) There were significant differences in the average body length and weight among different populations ($P < 0.05$). The growth index b ranged from 2.96 to 3.15, with *C. auratus* in lakes at lower latitudes exhibited isometric growth, while those in lakes at higher latitudes showing positive allometric growth. (2) All populations demonstrated a fast-growth pattern ($k > 0.2$), with asymptotic length L_{∞} ranging from 243.50 to 278.25 mm. The inflection age t_1 exceeded 2 years in Songhua Lake and Wuliangsu Lake populations, while that in the other lakes was around 1 year old. The growth performance index ϕ' ranged from 4.36 to 4.76. (3) The analysis revealed that geographical spatial factors (altitude, latitude, and shoreline development coefficient) and physicochemical parameters (pH, turbidity, and water depth) jointly regulated the growth characteristics. Moreover, geographical spatial factors (altitude and shoreline development coefficient) accounted for 76.4% of the variation ($P < 0.05$) and played a dominant role. This study elucidated the growth strategies of *C. auratus* populations across different geographical regions and their relationship with the environment, providing a theoretical basis for further exploring the growth ecological characteristics of *C. auratus* and its response to environmental changes.

Key words: Growth parameters; Altitude; Shoreline development index; Redundancy analysis; *Carassius auratus*

附录 S1 基于文献检索部分湖泊参数汇总

Appendix S1 Summarizes some lake parameters based on literature retrieval

序号 Number	湖泊 Lake	海拔 Altitude	纬度 Latitude	采样频率 Sampling frequency	样本数量 Sample size (尾)	渐近体长 L_{∞} Asymptotic length	生长系数K Growth coefficient	拐点年龄 t_1 Inflection age
1	达里湖 Dali Lake ^[44]	1226	43.12	1994年1、2、3月和 1995年2、6、7月	478	301.00	0.18	5.60
2	鄱阳湖 Poyang Lake ^[45]	20	28.22	2010年5—9月 每月1次	1334	294.90	0.14	7.13
3	淀山湖 Dianshan Lake ^[46]	2.92	30.59	2018年3—10月 每月1次	871	210.40	0.32	3.05
4	网湖 Wang Lake ^[47]	17	29.45	1984.12—1986.5 每月1次	286	285.80	0.26	3.95
5	草海 Caohai Lake ^[48, 49]	2171	26.47	2011.10—2012.9 每月1次	1136	259.50	0.15	6.28
6	南湾 Nanwan ^[10, 50]	250	31.95	2000.5—2002.7 每月1次	414	301.20	0.20	7.90
7	碧流河 Biliu River ^[51]	1047	39.24	1989.4—1991.6 每月1次	135	301.40	0.19	5.19

参考文献:

- [44] Jiang Z Q, Qin K J. Age and growth of crucian carp in Dali Lake [J]. *Journal of Fisheries*, 1996, **20**(3): 216-222. [姜志强, 秦克静. 达里湖鲫的年龄和生长 [J]. 水产学报, 1996, **20**(3): 216-222.]
- [45] Zhu Q G, Wu Z Q, Liu H Z. Age and growth characteristics of *Carassius auratus* from Poyang Lake [J]. *Jiangxi Fisheries Science and Technology*, 2010(4): 25-29. [朱其广, 吴志强, 刘焕章. 鄱阳湖鲫的年龄与生长特征 [J]. 江西水产科技, 2010(4): 25-29.]
- [46] Zhang Y Y, Chen W Y, Hu Z J, *et al.* Age and growth of crucian carp *Carassius auratus* in Huangpu River and Dianshan Lake [J]. *Fisheries Science*, 2020, **39**(06): 787-795. [张远远, 陈文银, 胡忠军, 等. 黄浦江和淀山湖鲫鱼的年龄和生长 [J]. 水产科学, 2020, **39**(06): 787-795.]
- [47] Duan Z H, Sun J Y, Chang J B, *et al.* The growth and stock assessment of *Carassius auratus* in Wanghu lake [J]. *Journal of Lake Science*, 1994, **6**(3): 257-266. [段中华, 孙建贻, 常剑波, 等. 网湖鲫鱼的生长与资源评估 [J]. 湖泊科学, 1994, **6**(3): 257-266.]
- [48] Wang J N, Zhou Q C, An M, *et al.* Age and growth of crucian carp *Carassius auratus* in Caohai lake [J]. *Aquatic Sciences*, 2014, **33**(9): 578-582. [王金娜, 周其椿, 安苗, 等. 草海鲫鱼的年龄和生长 [J]. 水产科学, 2014, **33**(9): 578-582.]
- [49] Wang J N, Zhou Q C, An M, *et al.* Reproductive biology of crucian carp *Carassius auratus* in Caohai Lake [J]. *Fisheries Science*, 2013, **32**(12): 701-705. [王金娜, 周其椿, 安苗, 等. 草海鲫鱼繁殖生物学特性的研究 [J]. 水产科学, 2013, **32**(12): 701-705.]
- [50] Liu E S, Liu Z W, Bao C H. The changes of catches of *Carassius auratus* and relationship with environment in Taihu Lake [J]. *Journal of Lake Science*, 2007, **19**(3): 345-350. [刘恩生, 刘正文, 鲍传和. 太湖鲫鱼数量变化的规律及与环境间关系的分析 [J]. 湖泊科学, 2007, **19**(3): 345-350.]
- [51] Liang Z C, Yang S W, Wu L Q, *et al.* Studies on the growth characteristics of common carp and crucian carp in Biliuhe Reservoir and its utilization in fishery [J]. *Journal of Dalian Fisheries College*, 1993, **8**(S1): 33-42. [梁兆川, 杨书藏, 吴连秋, 等. 碧流河水库鲤和鲫生长特性及其利用的研究 [J]. 大连水产学院学报, 1993, **8**(S1): 33-42.]