

doi: 10.7541/2020.143

不同规格拉萨裂腹鱼温度耐受性研究

何林强^{1,2*} 王万良^{1*} 曾本和¹ 杨瑞斌² 刘海平¹ 曾小理² 徐兆利² 王建³

(1. 西藏自治区农牧科学院水产科学研究所, 拉萨 850002; 2. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070;

3. 西南大学动物科学学院, 重庆 404100)

摘要: 实验旨在探讨三种规格拉萨裂腹鱼(*Schizothorax waltoni*)的温度耐受能力。通过每4h升高或者降低1℃, 其中升温或者降温1h, 平衡3h, 直到试验鱼全部死亡或水温降至0。结果表明: 大规格[(100.93±13.12) g、(19.71±1.04) cm]、中规格[(15.11±5.03) g、(10.05±1.19) cm]和小规格[(1.37±0.32) g、(4.51±0.35) cm]极限最高温度分别是30℃、30℃和33℃; 极限最低温度均为0, 均能在冰水混合的水中生存; 温度耐受幅分别是30℃、30℃和33℃; 在不同温度条件下拉萨裂腹鱼呼吸频率不同, 且不同规格拉萨裂腹鱼间呼吸频率存在着显著差异($P<0.05$)。因此, 在高海拔和温度变化幅度较大的区域均适合拉萨裂腹鱼规模化养殖培育, 但在冬季人工养殖过程中, 由于小规格拉萨裂腹鱼耐受能力差, 应移入温室大棚中养殖, 从而保证较高成活率和正常生长。

关键词: 拉萨裂腹鱼; 极限温度; 耐受性; 呼吸频率

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)06-1230-09

拉萨裂腹鱼(*Schizothorax waltoni*)隶属于鲤形目(Cypriniformes), 鲤科(Cyprinidae), 裂腹鱼亚科(Schizothoracinae), 裂腹鱼属(*Schizothorax*), 广泛分布于西藏地区雅鲁藏布江中上游干、支流及附属水体, 为我国特有种^[1]。拉萨裂腹鱼是西藏重要的土著鱼类之一, 具有很大的经济价值、科研价值和生态价值。近十几年, 随着人们生活水平的提高, 观念的改变, 导致食用“高原鱼”热潮兴起, 对水产品的需求量增加, 在经济利益驱使下, 人为滥捕现象十分猖獗。此外, 受风俗习惯的影响, 当地人从市场上购买外来鱼类进行放流, 许多入侵鱼类在雅鲁藏布江及拉萨河中已经形成了自然种群^[2], 造成本地土著鱼类资源锐减。西藏鱼类区系结构简单, 水生态环境十分脆弱, 种群一旦遭到破坏将很难恢

复, 保护雅鲁藏布江鱼类资源已刻不容缓^[3]。因此, 开展对拉萨裂腹鱼养殖生物学研究具有十分重要的意义。

早在1942年国外学者就开展了鱼类致死温度方面的研究^[4], 此后随着水产养殖业的发展, 我国在20世纪80年代中期开始有鱼类温度耐受性相关的报道面世^[5]。温度是重要的非生物因素, 在鱼类生长过程中, 对其生长率、代谢率和生理活动均会产生影响^[6]。鱼类属于变温动物, 与恒温动物不同, 其呼吸频率与活动状态对水温变化更为敏感^[7], 因此, 通过研究拉萨裂腹鱼温度耐受性对其适宜养殖区域选择具有重要的参考价值。目前对于拉萨裂腹鱼的研究主要集中在个体生物学和种群动态研究^[8]、年龄与生长^[9-10]、人工驯化养殖^[11]、遗传

收稿日期: 2019-06-04; 修订日期: 2020-02-19

基金项目: 西藏财政厅财政专项“西藏鱼类种质资源保护和开发——拉萨裂腹鱼和墨脱四须鲃”(ZXNKY-2019-C-053); 区科技厅重点研发及转化计划(XZ201801NB12); 西藏自治区区财政厅农业科技与服务资金(2018SFTG01); 西藏自治区自然科学基金(ZRKX2017000143); 西藏自治区地方引智示范推广项目(542108SF03); 农业农村部财政专项“西藏重点水域渔业资源与环境调查”资助 [Supported by the Finance Special Project of Tibet Finance Department: Conservation and Development of Fish Germplasm Resources in Tibet-*Schizothorax waltoni* and *Barbodes hexagonlepis* (ZXNKY-2019-C-053); the Key Research and Development and Transformation Plan of Tibet Science and Technology Department (XZ201801NB12); Tibet Finance Department Agricultural Science and Technology Service Funds (2018SFTG01); Natural Science Foundation of Tibet Autonomous Region (ZRKX2017000143); Demonstration and Extension Project of Local Intelligence Introduction in Tibet Autonomous Region (542108SF03); the Finance Special Project of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs: the Investment of Vital Water Area about Fishery Resources and Their Environment in Tibet]

作者简介: 何林强(1993—), 男, 硕士研究生; 研究方向为水产动物健康养殖。E-mail: helinqiang1127@163.com; 王万良(1987—), 男, 助理研究员; 研究方向为水产养殖。E-mail: lxslzfyzx@163.com *共同第一作者

通信作者: 刘海平(1981—), 男, 研究员; 主要从事高原渔业养护研究。E-mail: luhappy@163.com

多样性^[12]和早期发育研究^[13]等方面, 有关拉萨裂腹鱼的温度耐受性研究尚未见报道。

本实验通过每4h升高或者降低1℃, 其中升温或者降温1h, 平衡3h^[14], 观察不同温度条件下三种规格拉萨裂腹鱼的活动状态及呼吸频率, 统计不同规格拉萨裂腹鱼对环境温度的耐受范围和每分钟呼吸频率变化的种内差异情况, 探讨不同规格拉萨裂腹鱼温度耐受性, 旨在了解水温和个体规格对拉萨裂腹鱼的呼吸频率与活动状态的影响及其变化规律, 丰富其养殖生物学资料, 为拉萨裂腹鱼自然资源量的恢复和人工增养殖提供理论依据和数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验鱼于2018年8月5日均从雅鲁藏布江日喀则段捕获, 低温充氧运输至西藏自治区农牧科学院水产科学研究所西藏土著鱼类增殖育种场, 经过2%食盐消毒30min后, 暂养在4.7 m×3 m×0.6 m的水泥池中, 保持溶氧大于7 mg/L, 流水培育, 每2h循环换水1次, 养殖水温为(13±1)℃, 试验期间不投喂饲料。

1.2 试验方法

试验分组 从养殖水泥池中挑选三种规格[分别是大规格(100.93±13.12) g、(19.71±1.04) cm、中规格(15.11±5.03) g、(10.05±1.19) cm和小规格(1.37±0.32) g、(4.51±0.35) cm]的拉萨裂腹鱼作为实验材料, 试验鱼无病无伤, 活力旺盛, 其中大规格48尾, 中规格60尾, 小规格92尾, 每种规格分三组, 分别为升温试验实验组、降温试验实验组和空白对照组, 每组分3个平行, 每组均设有一个空白对照组。

高温耐受试验 在平列槽(200 cm×50 cm×25 cm)中进行, 每个平列槽用60目网片隔开, 分3个平行试验区, 每个平行试验区规格为50 cm×50 cm×25 cm, 容积为40 L。每个平行大、中、小规格试验鱼分别为8、10和15尾, 每个规格另设一个对照试验, 转入平列槽中, 试验水体提前充气增氧24h, 水体溶氧保持在7 mg/L以上, 以减少溶氧对其影响, 再经过静养24h, 使其适应试验环境。以车间水温(13℃)作为起始温度, 实验从2018年8月10日8:00开始, 用恒温加热棒进行加热, 并用精确度为0.1℃的水银温度计进行校正, 升温以每4h升温1℃, 其中升温1h, 平衡3h^[14], 试验期间每12h换水一次, 每次换水量约占总水量三分之一, 换水之前先预加热, 并加热至该时段下试验所需温度。试验观察并记录鱼的活动情况和呼吸频率变化等, 直到试验鱼全部死完为止, 以出现50%死亡数的水温作为临界水温^[4]。

低温耐受试验 试验在玻璃缸中进行, 试验

容器的体积为40 cm×25 cm×25 cm, 容积为20 L, 每种规格拉萨裂腹鱼设3个平行, 每个平行大规格的试验鱼4尾、中规格5尾和小规格8尾, 各规格另设一个对照试验, 转入玻璃缸中, 试验水体提前充气增氧24h, 水体溶氧保持在7 mg/L以上, 以减少溶氧对其影响, 再经过静养24h, 使其适应试验环境。以车间水温(13℃)作为起始温度, 用恒温培养箱进行降温, 并用精确度为0.1℃的水银温度计进行校正, 降温以每4h降温1℃, 其中降温1h, 平衡3h^[14], 试验期间每12h换水1次, 每次换水量约占总水量三分之一, 换水之前预先降温, 并降至该时段下试验所需温度。试验观察并记录鱼的形态、活动情况和呼吸频率变化情况等, 直到试验鱼全部死完或者水温降到0为止, 以出现50%死亡数的水温作为临界水温^[4]。

呼吸频率测定 在某一温度条件下, 测定每条鱼每分钟鳃盖张合次数, 即为每分钟鱼的呼吸频率, 每一温度测定3条鱼, 每条鱼测定3次, 计算每分钟的平均呼吸频率, 作为该温度下的呼吸频率。

1.3 试验数据处理与分析

数据采用Excel2010进行整理、分析和图表绘制, 利用SPSS18.0进行单因素方差分析, $P<0.05$ 为显著差异, 并对其作Duncan氏多重比较, 选定 R^2 最大值的函数关系式来作为最佳曲线。

2 结果

2.1 三种规格拉萨裂腹鱼的高温耐受性

实验结果表明(表1和表2): 三种规格拉萨裂腹鱼的对高温的耐受程度存在差异, 对水温变化的敏感度也不完全相同。试验组中大规格拉萨裂腹鱼在温度低于23℃的条件下, 活动正常, 且无死亡个体, 在24℃及以上的温度条件下, 陆续有鱼开始死亡; 在25—27℃时, 部分鱼开始离群独游, 反应强烈并频繁游动, 死亡率为20.8%; 在28—29℃时, 部分鱼长时间停留在水面并抽搐, 呼吸加快, 死亡率为16.8%; 在30—31℃时, 部分鱼失去平衡, 身体僵直, 时而沉入水底, 时而浮出水面, 死亡率为12.5%; 在32℃时, 鱼间歇性上蹿, 失去平衡, 呼吸加快, 不久后全部死亡。试验组中中规格拉萨裂腹鱼在温度低于21℃条件下, 活动正常, 集群明显, 但在22—23℃时, 均有个体死亡, 死亡率为10.0%; 在24—27℃时, 部分鱼反应激烈, 频繁游动, 间歇性的探出水面; 死亡率为33.4%; 在28—29℃时, 集群消失, 部分鱼间歇性的在水面活动, 死亡率为3.3%; 在30—32℃时, 鱼失去平衡并侧游, 呼吸加快, 死亡率为50.0%; 在33℃时, 鱼间歇性上蹿, 失去平衡, 呼吸加快, 不久后全部死亡。试验组中小规格拉萨裂腹鱼

表 1 温度升高三种规格拉萨裂腹鱼死亡情况

Tab. 1 Mortality of three sizes of *Schizothorax waltoni* with the increased temperature

时间 Time	温度 Temperature (°C)	各组死亡尾数(尾)Number of deaths in each group (Tail)		
		大规格 Large size	中规格 Medium size	小规格 Small size
16:00	13	0	0	0
20:00	14	0	0	0
0:00	15	0	0	0
4:00	16	0	0	0
8:00	17	0	0	0
12:00	18	0	0	0
16:00	19	0	0	0
20:00	20	0	0	0.67±1.15
0:00	21	0	0	0.67±1.15
4:00	22	0	0.33±0.58	0
8:00	23	0	0.67±0.58	0
12:00	24	0.67±0.58	1.00±0.00	0
16:00	25	0.33±0.58	0.67±0.58	0
20:00	26	1.00±0.00	1.00±0.00	0
0:00	27	0.33±0.58	0.67±0.58	0
4:00	28	0.67±0.58	0.33±0.58	0.67±1.15
8:00	29	0.67±1.15	0	0.67±1.15
12:00	30	0.33±0.58	2.67±1.54	0.33±0.58
16:00	31	0.67±0.58	1.33±0.58	0.67±0.58
20:00	32	3.33±1.53	1.00±0.00	0.67±0.58
0:00	33		0.33±0.58	3.33±2.08
4:00	34			3.00±0.00
8:00	35			1.33±0.58
12:00	36			3.00±2.00
合计 Total		8.00±0.00	10.00±0.00	15.00±0.00

在温度低于26℃的条件下,活动正常,集群明显,但在20—21℃时,均有个体死亡,死亡率为8.9%,可能的原因是运输过程中相互挤压引起试验鱼的体表黏液脱落或内脏受伤等人为伤害,又或者是试验过程操作不当引起鱼的死亡。在26—29℃时,部分鱼离群独游,反应激烈,频繁游动,死亡率为8.9%;在30—31℃时,部分鱼在水面活动,呼吸加快,死亡率为6.7%;在32—33℃时,部分鱼失去平衡,间歇性探出水面,呼吸加快,死亡率为26.7%;在34—35℃时,部分鱼失去平衡并侧游,另有部分鱼在水面中上层游动,时而缓慢游动,时而加速,时而上下乱蹿,并间歇性回正,呈僵直状,死亡率为26.7%;在36℃时,大部分鱼间歇性上蹿,而后沉入水底,间歇性往复,并失去平衡,呼吸加快,不久后全部死亡。试验过程中空白对照组均未出现死亡。

2.2 三种规格拉萨裂腹鱼的低温耐受性

实验结果表明(表 3 和表 4): 三种规格拉萨裂腹

鱼的对低温的耐受程度存在种间差异,对水温变化的敏感度也不完全相同。试验组中大规格拉萨裂腹鱼在温度高于6℃的条件下,活动正常;在4—6℃时,部分鱼活动缓慢,游动有些僵硬;在2—3℃时,呼吸不规律,反应迟缓;在0—1℃时,鱼躯体柔软,反应迟缓,并有部分鱼斜着身体静卧水底,几乎不动,试验组大规格拉萨裂腹鱼均无死亡。试验组中中规格拉萨裂腹鱼在温度高于5℃条件下,活动正常;在4—5℃时,活动缓慢;在2—3℃时,呼吸不规律,反应迟缓,部分鱼静卧水底;在0—1℃时,鱼躯体柔软,部分鱼身体失去平衡,试验组中规格拉萨裂腹鱼均无死亡。试验组中小规格拉萨裂腹鱼在温度高于4℃的条件下,活动正常,在4—12℃均无死亡个体;在3—4℃时,活动缓慢,无死亡个体;在0—2℃时,部分鱼失去平衡,呼吸不规律,反应迟缓,基本不活动,但在0—1℃时,均有个体死亡,死亡率为13.3%。试验过程中空白对照组均未出现死亡。

2.3 温度对三种规格拉萨裂腹鱼呼吸频率的影响

升温对三种规格拉萨裂腹鱼呼吸频率的影响 试验结果显示(表 5),各温度下拉萨裂腹鱼呼吸频率不同,随着水温的升高,其呼吸频率呈现增大的趋势,且不同规格拉萨裂腹鱼间呼吸频率存在着显著差异($P<0.05$)。在13—31℃逐渐上升的温度下,大规格拉萨裂腹鱼呼吸频率变化范围为43.3—163.7次/min且呈现波动上升趋势,其中呼吸频率增加的最大量为278.1%,并且在水温为31℃时呼吸急促,呼吸频率可达163.7次/min;在13—32℃逐渐上升的温度下,中规格拉萨裂腹鱼呼吸频率变化范围为92.7—166.3次/min且呈现波动上升趋势,其中呼吸频率增加的最大量为79.4%,并且在水温为31℃时呼吸急促,呼吸频率可达166.3次/min;在13—35℃逐渐上升的温度下,小规格拉萨裂腹鱼呼吸频率变化范围为126.7—173.0次/min且呈现波动上升趋势,其中呼吸频率增加的最大量为36.5%,并且在27℃时呼吸急促,呼吸频率可达173.0次/min。

降温对三种规格拉萨裂腹鱼呼吸频率的影响

试验结果显示(表 6),各温度下拉萨裂腹鱼呼吸频率不同,随着水温的降低,其呼吸频率呈现逐渐减小的趋势,且不同规格拉萨裂腹鱼间呼吸频率存在着显著差异($P<0.05$)。在0—12℃内,大规格拉萨裂腹鱼呼吸频率变化为12—46次/min呈波动下降趋势,呼吸频率减小的最大量为383.3%;中规格拉萨裂腹鱼呼吸频率变化为16—101.7次/min呈波动下降趋势,呼吸频率减小的最大量为635.6%;小规格拉萨裂腹鱼呼吸频率变化为11.7—118.7次/min呈波动下降趋势,呼吸频率减小的最大量为

1014.5%; 其中在水温为0时, 大规格鱼平均呼吸频率降为12.0次/min; 中规格鱼平均呼吸频率降为16.0次/min; 小规格鱼平均呼吸频率降为11.7次/min。

3 讨论

3.1 三种规格拉萨裂腹鱼对温度的耐受性

谢尔福德耐受性定律(Shelford's law of tolerance)表明生物对其生存环境的适应有一个生态最小量和生态最大量的界限, 生物只有处于这两个限度范围之间才能生存, 这个最小到最大的限度称为生物的耐受性范围^[15, 16], 鱼类属于变温动物, 环境温度是其最为重要的外界因素之一, 它影响鱼类的全部生命活动^[17]。鱼类具有一个温度耐受的上限和

下限, 它们之间的范围被称为温度耐受幅^[19], 是评价鱼类温度耐受特征的重要指标。

研究表明, 虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)作为冷水性鱼类, 其极限最高温度和极限最低温度分别为29.1℃和0.2℃, 对应的其最大温度耐受幅为28.9℃^[19]; 南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)作为温水性鱼类, 其极限最高温度和极限最低温度分别为38.2℃和5.9℃, 对应的其最大温度耐受幅为32.3℃^[20]; 南亚野鲮(*Labeo rohita*)作为热带鱼类, 其极限最高温度和极限最低温度分别为41.6℃和14.2℃, 对应的其最大温度耐受幅为27.4℃^[21]。鱼类的温度耐受性受个体大小的影响^[14]。本次试验结果表明, 大规格、中规格和小规格拉萨裂腹鱼的极限最高温分别为

表 2 三种规格拉萨裂腹鱼对温度升高的耐受情况

Tab. 2 The tolerance of three sizes of *Schizothorax waltoni* with the increased temperature

时间 Time	温度 Temperature (℃)	活动状态Activity state		
		大规格Large size	中规格Medium size	小规格Small size
16:00	13	活动正常	活动正常	活动正常
20:00	14	活动正常	活动正常	活动正常
0:00	15	活动正常	活动正常	活动正常
4:00	16	活动正常	活动正常	活动正常
8:00	17	活动正常	活动正常	活动正常
12:00	18	活动正常	活动正常	活动正常
16:00	19	活动正常	活动正常	活动正常
20:00	20	活动正常	活动正常	活动正常
0:00	21	活动正常	活动正常	活动正常
4:00	22	活动正常	活动正常	活动正常
8:00	23	活动正常	活动正常	活动正常
12:00	24	活动正常	部分鱼反应激烈, 游动频繁	活动正常
16:00	25	部分鱼间歇性在水面上上层游动, 离群独游	部分鱼间歇性探出水面, 游动频繁	活动正常
20:00	26	部分鱼反应强烈, 开始频繁游动	部分鱼反应激烈, 游动频繁	部分鱼反应激烈, 频繁游动
0:00	27	部分鱼在乱蹿, 反应激烈, 频繁游动	部分鱼在水底乱蹿, 反应激烈, 游动频繁	部分鱼反应激烈, 成群乱蹿
4:00	28	部分鱼长时间停留水面, 呼吸加快	集群消失, 部分鱼间歇性的在水面活动	部分鱼开始离群, 在水底乱蹿
8:00	29	部分鱼开始抽搐, 呼吸加快	部分鱼开始在水面活动, 并间歇性乱蹿	部分鱼反应激烈, 分散乱蹿
12:00	30	部分鱼失去平衡, 并侧游, 间歇性探出水面	部分鱼开始失去平衡, 并侧游	部分鱼间歇性探出水面, 呼吸加快
16:00	31	部分鱼身体僵直, 时而沉入水底, 时而浮出水面	部分鱼失去平衡, 并侧游, 呼吸加快	部分鱼在水面活动, 呼吸加快
20:00	32	鱼间歇性上蹿, 失去平衡, 呼吸加快, 而后全部死亡	部分鱼翻白肚沉入水底, 并间歇性侧游, 呼吸急促	部分鱼开始失去平衡, 呼吸加快
0:00	33		鱼间歇性上蹿, 失去平衡, 呼吸加快, 而后全部死亡	部分鱼间歇性的探出水面, 并侧游, 呼吸加快
4:00	34			部分鱼失去平衡并不时探出水面, 间歇性回正, 而后沉入水底, 另有部分鱼长时间静卧水底
8:00	35			大部分鱼在水面上上层游动, 时而缓慢游动, 时而加速, 时而上下乱蹿, 并侧游, 部分鱼呈僵直状
12:00	36			鱼间歇性上蹿, 而后沉入水底, 并失去平衡, 呼吸加快, 而后全部死亡

30℃、30℃和33℃; 极限最低温度均为0, 极限温度与温水性鱼类^[20, 22]和热带鱼类^[21, 23]相比, 呈现高温耐受性低, 低温耐受性高的特点, 但与齐口裂腹鱼(*Sclizothorax prenanti*)^[24]及虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[19]等部分冷水鱼类接近; 而大规格、中规格和小规格拉萨裂腹鱼的温度耐受幅分别是30℃、30℃和33℃, 较大部分冷水性鱼类温度耐受幅大^[24, 25], 这是由于生物的适应温度是与其生活方式和栖息地的季节性温度变化相关联, 即生活于环境变化较大的生物比生活于环境变化相对稳定的狭温生物具有较大的广温性^[26], 加之西藏地区环境气候变化较大, 如雅鲁藏布江周年水温最大温差为16℃^[27], 这就使得拉萨裂腹鱼较其他冷水鱼类具有较大的广温性。相关研究显示鱼类所表现出的活力状态可能与乙酰胆碱脂酶(AchE)在温度胁迫下活性变化相关, 乙酰胆碱脂酶是一种分解酶, 可水解乙酰胆碱, 保证神经兴奋与抑制协调统一^[28]。然而拉萨裂腹鱼体内乙酰胆碱脂酶(AchE)行使正常功能的温度耐受范围及其影响鱼体活动状态情况还有待进一步研究。

3.2 三种规格拉萨裂腹鱼在不同温度下呼吸频率变化规律

升温试验下呼吸频率变化规律 当水体溶解氧饱和度达65%以上的范围内, 温度是影响呼吸频率的主要因素^[29]。水温升高1℃, 其代谢速率增加10%; 水温升高10℃, 其代谢速率增加1倍^[30], 与此同时用来维持代谢的重要组织器官活性增强, 机

体内相应酶的活性也会随之提高, 机体的活动强度增大, 基础代谢旺盛, 表现出耗氧率上升的结果^[31]。本试验在升温过程中, 呼吸频率随温度的上升呈现规律性增加。可能原因是在一定氧饱和状态下, 温度高的水比温度低的水的溶氧相对要少, 鱼体在温水中为了达到与在低温水中等量的氧气, 其鳃部就要过滤更多的温水, 就必须加快呼吸频率, 使更多的温水通过腮部^[32], 所以在一定温度范围内, 呼吸频率随温度上升而增加; 另外, 水温升高时, 通过增加呼吸频率来摄取更多的氧气, 是维持较高代谢速率的有效途径^[29]。通过比较发现, 在相同温度及相似溶解氧条件下, 规格越大的拉萨裂腹鱼, 其呼吸频率越低, 即大规格<中规格<小规格, 这与陈松波等^[29]和曹维勤等^[33]的相关研究结果相一致。通过比较其呼吸频率增加最大量, 发现拉萨裂腹鱼规格越大, 其呼吸频率增加量越大, 即大规格>中规格>小规格; 说明规格越小, 在高温环境中, 鱼适应能力越强, 水温变化对鱼影响越小, 即代谢速率增加量越小^[29]。因此, 随着温度的升高, 拉萨裂腹鱼体内

表 4 三种规格拉萨裂腹鱼对温度降低的耐受情况

Tab. 4 The tolerance of three sizes of *Schizothorax waltoni* with the reduced temperature

时间 Time	温度 Temperature (℃)	活动状态Activity state		
		大规格 Large size	中规格 Medium size	小规格 Small size
20:00	12	活动正常	活动正常	活动正常
0:00	11	活动正常	活动正常	活动正常
4:00	10	活动正常	活动正常	活动正常
8:00	9	活动正常	活动正常	活动正常
12:00	8	活动正常	活动正常	活动正常
16:00	7	活动正常	活动正常	活动正常
20:00	6	部分鱼活动缓慢	活动正常	活动正常
0:00	5	游动有些僵硬	部分鱼活动缓慢	活动正常
4:00	4	游动有些僵硬	游动有些僵硬	部分鱼活动缓慢
8:00	3	部分鱼呼吸不规律, 反应迟缓	游动有些僵硬, 呼吸不规律, 反应迟缓	部分鱼开始失去平衡, 并测游, 活动缓慢
12:00	2	反应迟缓, 间歇性摆动尾部, 呼吸不规律	反应迟缓, 呼吸减缓, 静卧水底, 呼吸不规律	部分鱼失去平衡, 呼吸不规律, 活动缓慢
16:00	1	鱼躯体柔软, 静卧水底, 反应迟缓, 无激烈反应, 呼吸不规律	鱼躯体柔软, 部分鱼身体失去平衡, 无激烈反应	部分鱼斜着身体静卧水底, 呼吸不规律, 反应迟缓, 不时探出水面
20:00	0	鱼躯体柔软, 斜着身体静卧水底, 几乎不活动	鱼躯体柔软, 反应迟缓, 部分鱼身体失去平衡	呼吸不规律, 反应迟缓, 基本不活动

表 3 温度降低三种规格拉萨裂腹鱼死亡情况

Tab. 3 Mortality of three sizes of *Schizothorax waltoni* with the reduced temperature

时间 Time	温度 Temperature (℃)	各组死亡尾数(尾)Number of deaths in each group (Tail)		
		大规格 Large size	中规格 Medium size	小规格 Small size
20:00	12	0	0	0
0:00	11	0	0	0
4:00	10	0	0	0
8:00	9	0	0	0
12:00	8	0	0	0
16:00	7	0	0	0
20:00	6	0	0	0
0:00	5	0	0	0
4:00	4	0	0	0
8:00	3	0	0	0
12:00	2	0	0	0
16:00	1	0	0	0.33±0.58
20:00	0	0	0	0.33±0.58
合计Total		0	0	2.00±0.00

代谢增强, 通过增加呼吸频率获取更多的氧气, 以维持体内较高的代谢过程, 而鱼的规格越大, 体内代谢越强, 呼吸频率变化量越大, 对高温环境适应性越差。

降温试验下呼吸频率变化规律 在降温试验中, 呼吸频率随温度的降低呈现规律性的减小, 陈松波等^[29]认为鱼类呼吸频率逐渐下降, 鱼体的生理活动能力随之逐渐下降, 其代谢率也随之减小, 这与本次试验中所观察到的行为活动一致。在低温条件下, 水体的溶氧相对高温的溶氧要多, 并且杨凯等^[31]认为在低温条件下, 鱼类耗氧率可能会低于高温下的耗氧率; 这就使得鱼体不需要提高呼吸

表 5 温度升高对三种规格拉萨裂腹鱼呼吸频率的影响
Tab. 5 The effect of increased temperature on the breathing rate of three sizes of *Schizothorax waltoni*

时间Time	温度 Temperature (°C)	呼吸频率(次/min)Breathing rate (time/min)		
		大规格Large size	中规格 Medium size	小规格 Small size
16:00	13	43.3±1.5 ^a	92.7±7.6 ^b	126.7±14.2 ^c
20:00	14	57.7±4.2 ^a	98.0±5.0 ^b	133.7±12.0 ^c
0:00	15	64.3±3.2 ^a	120.3±3.8 ^b	133.3±8.4 ^c
4:00	16	68.0±5.3 ^a	124.0±1.0 ^b	138.3±12.5 ^b
8:00	17	90.3±3.1 ^a	130.7±7.2 ^b	145.7±7.2 ^c
12:00	18	96.3±4.5 ^a	127.7±2.1 ^b	146.3±5.9 ^c
16:00	19	96.0±8.7 ^a	125.3±3.8 ^b	148.7±3.5 ^c
20:00	20	110.0±20.0 ^a	138.3±3.5 ^b	156.0±3.0 ^b
0:00	21	106.3±16.0 ^a	140.7±1.5 ^b	153.0±3.0 ^b
4:00	22	123.0±2.6 ^a	152.0±4.6 ^b	162.0±3.0 ^c
8:00	23	121.3±7.0 ^a	150.0±3.0 ^b	162.0±3.0 ^c
12:00	24	120.0±3.0 ^a	154.7±5.1 ^b	163.7±8.1 ^b
16:00	25	119.7±0.6 ^a	154.0±3.5 ^b	166.0±3.5 ^c
20:00	26	121.3±2.9 ^a	148.7±6.4 ^b	171.0±7.9 ^c
0:00	27	127.0±1.7 ^a	150.7±6.8 ^b	173.0±7.5 ^c
4:00	28	127.7±5.1 ^a	145.7±3.8 ^b	161.0±4.6 ^c
8:00	29	145.3±2.3 ^a	149.0±7.5 ^a	147.3±3.1 ^a
12:00	30	152.3±2.0 ^a	163.0±1.7 ^a	152.7±8.5 ^a
16:00	31	163.7±9.0 ^a	166.3±1.5 ^{ab}	155.0±1.7 ^b
20:00	32		161.0±5.6 ^A	160.0±4.6 ^A
0:00	33			157.0±1.7 ^A
4:00	34			164.7±5.5 ^A
8:00	35			164.7±10.8 ^A

注: 数据为平均值±标准差。同列及同行数字上标大写字母相同时为差异不显著($P>0.05$); 同行数字上标小写字母不同为差异显著($P<0.05$); 同行数字上标小写字母相同为差异不显著($P>0.05$); 下同

Note: Data are presented by Mean±SD. Capital letters with superscripts in the same column and line are not significantly different ($P>0.05$); different superscripts in the same line are significantly different ($P<0.05$); same superscripts in the same line are not significantly different ($P>0.05$). The same applies below

表 6 温度降低对三种规格拉萨裂腹鱼呼吸频率的影响

Tab. 6 The effect of reduced temperature on the breathing rate of three sizes of *Schizothorax waltoni*

时间 Time	温度 Temperature (°C)	呼吸频率(次/min)Breathing rate (time/min)		
		大规格Large size	中规格 Medium size	小规格 Small size
20:00	12	43.0±3.0 ^a	92.3±8.1 ^b	118.7±4.5 ^c
0:00	11	44.0±3.0 ^a	101.7±3.5 ^b	106.7±14.0 ^b
4:00	10	45.0±1.0 ^a	68.0±7.5 ^b	88.7±7.5 ^b
8:00	9	46.3±3.1 ^a	64.0±4.6 ^b	82.7±3.8 ^c
12:00	8	44.0±1.7 ^a	68.0±6.2 ^b	84.0±5.2 ^c
16:00	7	42.3±0.6 ^a	67.0±6.2 ^b	72.0±3.0 ^b
20:00	6	42.0±3.0 ^a	58.7±1.5 ^b	69.7±5.0 ^c
0:00	5	38.0±3.5 ^a	47.0±6.2 ^{ab}	58.0±9.2 ^b
4:00	4	32.7±6.5 ^a	45.0±5.2 ^a	43.0±11.4 ^a
8:00	3	28.7±2.1 ^a	26.0±4.6 ^a	42.3±9.8 ^b
12:00	2	22.3±5.1 ^a	17.0±3.5 ^a	32.7±3.5 ^b
16:00	1	22.7±2.3 ^a	18.0±3.0 ^{ab}	26.7±3.1 ^b
20:00	0	12.0±3.0 ^a	16.0±1.7 ^{ab}	11.7±0.6 ^b

频率来获取更多的氧气参与到代谢中, 故呼吸频率下降。通过比较其呼吸频率减小最大量, 发现规格越小, 其呼吸频率减小最大量越大, 即大规格<中规格<小规格, 说明规格越小, 鱼适应能力越弱, 水温变化对鱼影响越大; 规格越大, 鱼适应能力越强, 水温变化对鱼影响越小, 这与神仙鱼^[34]的研究结果一致。另一些研究表明^[30]鱼类有其耐受生存的温度, 但不是其最适生理温度, 通过比较分析拉萨裂腹鱼的活力状态和呼吸频率, 对于自然条件下拉萨裂腹鱼来说, 温度越低对其生长不一定有害, 因为在西藏寒冷季节水温低的条件, 鱼体规格越大, 更容易通过调节自身体内生理生化速率, 减缓代谢速度, 使其耗能减慢, 避免由于食物短缺而造成饥饿死亡, 能够更好的度过低温的季节。

拉萨裂腹鱼呼吸频率与温度的变化关系 在温度升高的条件下, 生物有氧代谢降低^[35], 此时呼吸频率会代偿性上升, 当达到较高温度时, 蛋白质就会发生变性, 从而诱导热休克蛋白的产生, 来维持细胞热稳态, 然而当达到鱼类热耐受上限时, 也会造成鱼类死亡^[36]。因此, 高温会造成鱼类死亡。研究表明, 在温度降低的条件下, 鱼的呼吸频率减缓, 生理活性降低, 代谢减慢, 此时在低温时鱼体更能通过自身调节而存活下来^[29]。

由图 1 可知, 利用线性回归方法, 将所得到的所有数据进行拟合, 得到大规格、中规格和小规格拉萨裂腹鱼的 R^2 值分别为0.9519、0.9729和0.9686, 拟合效果好, 可信度高, 且在众多因素中, 温度对呼吸

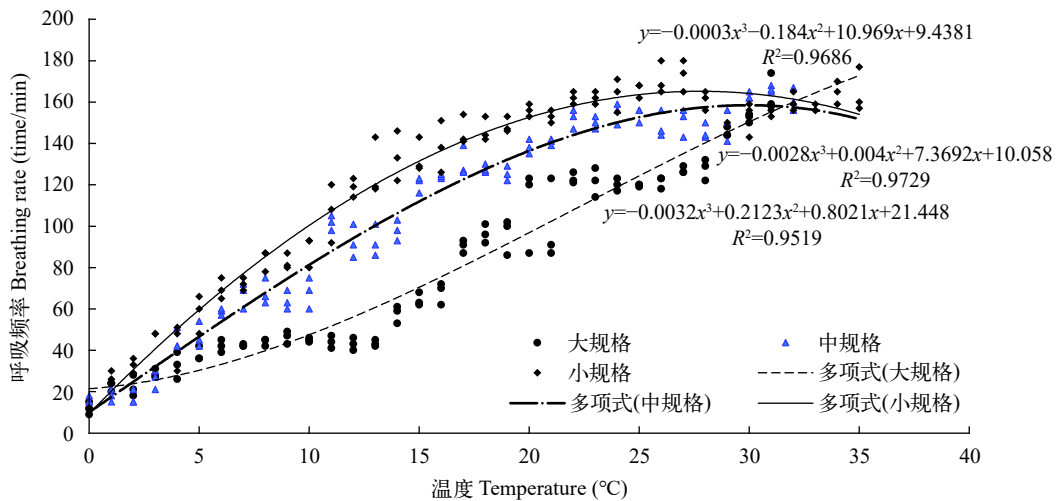


图1 三种规格拉萨裂腹鱼呼吸频率与温度变化

Fig. 1 The relationship between the breathing rate and temperature of three different sizes of *Schizothorax waltoni*

频率的影响是最大的, 试验效果明显。由此说明当试验水体中溶解氧适宜时, 影响呼吸频率的主要因素是温度, 不同规格间的拉萨裂腹鱼的呼吸频率数值均不相同, 但均表现为温度高呼吸频率总体加快, 温度低呼吸频率总体下降的变化趋势, 即温度与鱼体的呼吸频率呈正相关关系, 由此可通过养殖水体的温度, 来预测此时鱼体的活动状态。这对人工养殖条件下的温度调控具有一定的参考价值, 从而有效降低应激反应, 提高养殖成活率。

3.3 拉萨裂腹鱼适宜养殖水温分析

在冷水性鱼类中, 水温为8—20℃是其适宜的养殖范围^[37]。在一定温度范围内, 较高的温度可以促进鱼类的生长, 较低的温度会减缓鱼类的生长; 倘若温度骤变, 鱼类因不能马上适应环境的变化, 而会导致死亡发生^[37]。本次试验结果表明, 拉萨裂腹鱼大规格、中规格和小规格可适应的温度范围分别为7—24℃、6—23℃和5—25℃, 故不同规格的拉萨裂腹鱼可适应的温度范围随着体重的变化而变化, 这与大西洋鲑鱼的研究结果相一致^[38]。资料显示, 雅鲁藏布江年平均水温低于10℃, 部分水域12月到翌年2月份平均水温基本保持在0℃左右, 最高水温出现7—8月份, 平均水温在15℃左右^[39]。目前, 雅鲁藏布江流域及周边区域均是拉萨裂腹鱼主要养殖繁育区域, 结合上述极限温度以及温度耐受幅, 在人工养殖或者渔业资源养护过程中, 建议对于当年培育或者野外捕获的小规格拉萨裂腹鱼可通过在温室中培育, 以保证其较高的存活率和正常生长发育。

4 总结

大规格、中规格和小规格拉萨裂腹鱼的极限

最高温度分别是30℃、30℃和33℃; 极限最低温度均为0℃; 温度耐受幅分别是30℃、30℃和33℃。在高温环境中, 通过比较其呼吸频率变化量, 得出规格越小, 鱼适应能力越强, 水温变化对鱼影响越小, 规格越大, 其呼吸频率变化量越大, 体内代谢越强, 对高温环境适应性越差; 在低温环境中, 通过比较其呼吸频率变化量, 得出规格越大, 鱼适应能力越强, 水温变化对鱼影响越小; 此外, 在西藏寒冷季节, 鱼体规格越大, 更容易通过调节自身体内生理生化速率, 减缓代谢速度, 使其耗能减慢, 避免由于食物短缺而造成饥饿死亡, 能够更好的度过低温的季节。因此, 在人工养殖或者渔业资源养护过程中, 对于当年培育或者野外捕获的小规格拉萨裂腹鱼, 由于鱼体规格较小, 在有条件的情况下, 将鱼苗移入温室大棚中养殖, 从而保证较高成活率和正常生长。

参考文献:

- [1] Fisheries Bureau of Tibet Autonomous Region. Fish and Fishery in Xizang [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 10-13. [西藏自治区水产局. 西藏鱼类及其资源 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 10-13.]
- [2] Chen F, Chen Y F. Investigation and protection strategies of fish of Lhasa River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2010, **34**(2): 278-285. [陈锋, 陈毅峰. 拉萨河鱼类调查及保护 [J]. 水生生物学报, 2010, **34**(2): 278-285.]
- [3] Yang H Y, Huang D M. A preliminary investigation on fish fauna and resources of the upper and middle Yalu Tsangpo River [J]. *Journal of Huazhong Normal University (Natural Sciences)*, 2011, **45**(4): 629-633. [杨汉运, 黄道明. 雅鲁藏布江中上游鱼类区系和资源状况初步调查 [J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2011, **45**(4): 629-633.]
- [4] Fry F E J, Brett J R, Clawson G H. Lethal limits of tem-

- perature for young goldfish [J]. *Revue Canadienne de Biologie*, 1942(1): 50-56.
- [5] Wang X J, Wu D A. Studies on the criteria of water temperature for major cultured freshwater fishes [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1994, **18**(2): 93-100. [汪锡钧, 吴定安. 几种主要淡水鱼类温度基准值的研究 [J]. 水产学报, 1994, **18**(2): 93-100.]
- [6] Elliott A. A comparison of thermal polygons for British freshwater teleosts [J]. *Freshwater Forum*, 1995(5): 178-184.
- [7] Zhang Y Q, Yin J S, Xu G F, *et al.* Effects of the water temperature and the weight on the critical swimming speed and oxygen consumption rate of *Salvelinus leucomaenis* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(4): 661-668. [张永泉, 尹家胜, 徐革峰, 等. 水温和体重对白斑红点鲑临界游泳速度和游动耗氧率的影响 [J]. 水生生物学报, 2015, **39**(4): 661-668.]
- [8] Zhou X J. Study on the biology and population dynamics of *Schizothorax waltoni* [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2014: 21-108. [周贤君. 拉萨裂腹鱼个体生物学和种群动态研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014: 21-108.]
- [9] Qiu H, Chen Y F. Age and growth of *Schizothorax waltoni* in the Yarlung Zangbo River in Tibet, China [J]. *Ichthyological Research*, 2009, **56**(3): 260-265.
- [10] Hao H Z. Studies on age and growth of *Schizothorax waltoni* Regan [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2005: 14-32. [郝汉舟. 拉萨裂腹鱼的年龄和生长研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2005: 14-32.]
- [11] Wang W L, Li B H, Zhou J S, *et al.* Two different modes domesticated wild *Schizothorax waltoni* Regan and compared test results [J]. *Tibet Journal of Agricultural Sciences*, 2016, **38**(1): 16-20. [王万良, 李宝海, 周建设, 等. 两种不同模式人工驯养野生拉萨裂腹鱼试验效果比较 [J]. 西藏农业科技, 2016, **38**(1): 16-20.]
- [12] Guo X Z, Zhang G R, Wei K J, *et al.* Development and characterization of 20 polymorphic microsatellite loci for the *Schizothorax waltoni* [J]. *Conservation Genetics Resources*, 2014, **6**(2): 413-415.
- [13] Xu J. Early development of four *Schizothoracinae* fishes in the Yarlung Zangbo River, Tibet [D]. Wuhan: Huazhong Agriculture University, 2011: 24-30. [许静. 雅鲁藏布江四种特有裂腹鱼类早期发育的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 24-30.]
- [14] Baker S C, Heidinger R C. Upper lethal temperature tolerance of fingerling black crappie [J]. *Journal of Fish Biology*, 1996, **48**(6): 1123-1129.
- [15] Shelford V E. Physiological animal geography [J]. *Journal of Morphology*, 1911, **22**(3): 551-618.
- [16] Shelford V E, Schinn H B. Animal communities in temperate America [J]. *Elementary School Journal*, 1937, **30**(3): 548-549.
- [17] Pankhurst N W, Munday P L. Effects of climate change on fish reproduction and early life history stages [J]. *Marine and Freshwater Research*, 2011, **62**(9): 1015-1026.
- [18] 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. [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.]
- [19] Currie R J, Bennett W A, Beiting T L, *et al.* Critical thermal minima and maxima of three freshwater gamefish species acclimated to constant temperatures [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1998, **51**(2): 187-200.
- [20] Wang Y S, Cao Z D, Fu S J, *et al.* Thermal tolerance of juvenile *Silurus meridionalis* Chen [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, **27**(12): 2136-2140. [王云松, 曹振东, 付世建, 等. 南方鲇幼鱼的热耐受特征 [J]. 生态学杂志, 2015, **27**(12): 2136-2140.]
- [21] Chatterjee N, Pal A K, Manush S M, *et al.* Thermal tolerance and oxygen consumption of *Labeo rohita* and *Cyprinus carpio* early fingerlings acclimated to three different temperatures [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2004, **29**(6): 265-270.
- [22] Chai X J, Xu J Z. A study on tolerance of *Nibea japonica* (Temminck et Schlegel) towards temperature [J]. *Modern Fisheries Information*, 2007, **22**(2): 22-23. [柴学军, 徐君卓. 日本黄姑鱼 *Nibea japonica* (Temminck et Schlegel) 的耐温性研究 [J]. 渔业信息与战略, 2007, **22**(2): 22-23.]
- [23] Song Y, Su M L, Liu N X, *et al.* Studies on low temperature resistance and nutritional needs of *Scatophagus argus* juveniles [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2012, **21**(5): 715-719. [宋郁, 苏冒亮, 刘南希, 等. 金钱鱼幼鱼低温耐受能力和饵料营养需求的研究 [J]. 上海海洋大学学报, 2012, **21**(5): 715-719.]
- [24] Wu Q, Cai L M, Lu J P, *et al.* Studies on the tolerance ability of young *Schizothorax prenanti* to variance of the water temperature and dissolved oxygen [J]. *Journal of Sichuan Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2001, **15**(3): 20-22. [吴青, 蔡礼明, 陆建平, 等. 齐口裂腹鱼幼鱼对水温和溶解氧的耐受力研究 [J]. 四川畜牧兽医学院学报, 2001, **15**(3): 20-22.]
- [25] Liu C S, Chen S Q, Sun J M, *et al.* The tolerability of younger *Anarrhichthys ocellatus* to temperature and salinity [J]. *Fishery Modernization*, 2011, **38**(2): 1-5. [刘春胜, 陈四清, 孙建明, 等. 狼鲛幼鱼对温度和盐度耐受性的试验研究 [J]. 渔业现代化, 2011, **38**(2): 1-5.]
- [26] Cossins A R, Bowler K. Temperature Biology of Animals [M]. The Direct Effect of Temperature Changes. Springer Netherlands Publisher, 1987: 23-61.
- [27] Li H J, Zhang N, Lin X T. Spatio-temporal characteristics of Yalung Zangbo River in Tibet [J]. *Journal of Henan Normal University (Natural Science)*, 2010, **38**(2): 126-130. [李红敬, 张娜, 林小涛. 西藏雅鲁藏布江水质时空特征分析 [J]. 河南师范大学学报(自然版), 2010, **38**(2): 126-130.]
- [28] Feng Z Q, Wang Z X. The acclimation of fishes to environmental temperature [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1984, **8**(1): 79-83. [冯祖强, 王祖熊. 鱼类对环境温度适应问题 [J]. 水产学报, 1984, **8**(1): 79-83.]
- [29] Chen S B, Fan Z T, Chen W X. The relationship of respiratory rate and oxygen consumption rate in common carp under different temperature [J]. *Journal of Northeast Ag-*

- ricultural University*, 2006, **37**(3): 352-356. [陈松波, 范兆廷, 陈伟兴. 不同温度下鲤鱼呼吸频率与耗氧率的关系 [J]. *东北农业大学学报*, 2006, **37**(3): 352-356.]
- [30] Jesse F B. Animal Anatomy and Physiology (second edition) [M]. Reston Virginia: Aprentice-Hall Company, 1982: 185-203.
- [31] Yang K, Gao Y A, Yuan Y C, *et al.* Studies on oxygen consumption rate, ammonia excretion rate and suffocation point of *Squaliobarbus curriculus* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2017, **47**(5): 9-13. [杨凯, 高银爱, 袁勇超, 等. 赤眼鳟耗氧率、排氨率和窒息点的初步研究 [J]. *淡水渔业*, 2017, **47**(5): 9-13.]
- [32] Schurmann H, Steffensen J F. Effects of temperature, hypoxia and activity on the metabolism of juvenile *Atlantic cod* [J]. *Journal of Fish Biology*, 1997, **50**(6): 1166-1180.
- [33] Cao W Q, Zhang C Z, Qin S F, *et al.* Model FRF-1 determination instrument [J]. *Journal of Beijing Polytechnic University*, 1989, **15**(2): 34-41. [曹维勤, 张崇正, 秦少峰, 等. FRF-1型鱼类呼吸频率测定仪 [J]. *北京工业大学学报*, 1989, **15**(2): 34-41.]
- [34] Chen J S. Influence of temperature on the digestive enzyme activity and respiration frequency of *Pterophyllum scalare* [D]. Xiamen: Xiamen University, 2007: 28-30. [陈进树. 温度对神仙鱼(*Pterophyllum scalare*)主要消化酶活力及呼吸频率的影响 [D]. 厦门: 厦门大学, 2007: 28-30.]
- [35] Portner H O, Knust R. Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance [J]. *Science (Washington D C)*, 2007, **315**(5808): 95-97.
- [36] Song W H. The effects of stocking density and water temperature on growth and physiological parameters of *Ctenopharyngodon idellus* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012: 38-43. [宋文华. 养殖密度和温度对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)生长和生理生化指标的影响 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 38-43.]
- [37] Liu Y C, Liu H P, Liu S Y, *et al.* Effects of temperature on embryonic development and growth traits of *Oxygymnocypris stewartii* larvae and juvenile [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2018, **53**(6): 910-923. [刘艳超, 刘海平, 刘书蕴, 等. 温度对尖裸鲤胚胎发育及其仔稚鱼生长性状的影响 [J]. *动物学杂志*, 2018, **53**(6): 910-923.]
- [38] Kling L J, Hansen J M, Jordaan A. Growth, survival and feed efficiency for post-metamorphosed Atlantic cod (*Gadus morhua*) reared at different temperatures [J]. *Aquaculture*, 2007, **262**(2): 281-288.
- [39] Wei X, Deng Y, Zhang L L, *et al.* Analysis of water temperature characteristics in middle reach of the Yarlung Zangbo River [J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2015(S2): 17-23. [魏希, 邓云, 张陵蕾, 等. 雅鲁藏布江干流中游河段水温特性分析 [J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2015(S2): 17-23.]

THE STUDY ON THE TEMPERATURE TOLERANCE OF DIFFERENT SIZES OF *SCHIZOTHORAX WALTONI*

HE Lin-Qiang^{1,2}, WAMG Wan-Liang¹, ZENG Ben-He¹, YANG Rui-Bin², LIU Hai-Ping¹, ZENG Xiao-Li², XU Zhao-Li² and WANG Jian³

(1. Institute of Fisheries Science, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850002, China; 2. Huazhong Agricultural University Fisheries College, Wuhan 430070, China; 3. Southwest University School of Animal Science, Chongqing 404100, China)

Abstract: To investigate the temperature tolerance of *Schizothorax waltoni* with 3 different size, the temperature was increased or decreased by 1°C every four hours and then balance for 3 hours, until all fish died or the water temperature dropped to 0. The results showed that the highest temperature of large size [(100.93±13.12) g and (19.71±1.04) cm], medium size [(15.11±5.03) g and (10.05±1.19) cm], small size [(1.37±0.32) g and (4.51±0.35) cm] of *Schizothorax waltoni* were 30°C, 30°C and 33°C respectively and the lowest temperature was 0 for all 3 groups with all fish can survive. The temperature tolerance amplitude were 30°C, 30°C and 33°C respectively; the breathing rate of *Schizothorax waltoni* were different in the different temperatures, and the breathing rate of different sizes of *Schizothorax waltoni* were significantly different ($P<0.05$). Therefore, it is suitable for the large-scale breeding of *Schizothorax waltoni* in areas with high altitude and temperature variation and the small size of *Schizothorax waltoni* should be farmed in the greenhouses to guarantee the high survival rate and normal growth.

Key words: *Schizothorax waltoni*; Limit temperature; Tolerance; Breathing rate