

4种高原裂腹鱼类对水流和底质的趋性研究

姜昊^{1,2}, 陆波¹, 蔡跃平² (1. 水电水利规划设计总院, 北京 100120; 2. 乐山中电建生态环保科技有限公司, 四川乐山 614000)

摘要 通过开展异齿裂腹鱼、拉萨裸裂尻、拉萨裂腹鱼和巨须裂腹鱼对水流和底质的趋性试验, 测定4种裂腹鱼感应流速, 获得其对不同粒径大小底质的偏好, 以为高原鱼道进口诱鱼措施的设计提供参考。结果表明: 在11.3~15.2℃条件下, 4种裂腹鱼相对感应流速范围和均值分别为0.26~0.49(0.37)、0.39~0.61(0.45)、0.26~0.46(0.37)、0.19~0.50(0.33)BL/s。异齿裂腹鱼和拉萨裸裂尻趋性在流速为0.07和0.42 m/s时偏好底质粒径为5~7 cm的卵石; 拉萨裂腹鱼和巨须裂腹鱼在流速为0.42 cm/s时偏好底质粒径为9~13 cm的卵石。因此, 以这4种裂腹鱼类为主要过鱼对象的鱼道进口设计流速至少应大于0.45 BL/s, 使鱼类能感应到进口流速而上溯; 将5~13 cm粒径的卵石作为鱼道入口和槽身底部的铺装材料, 以达到诱鱼的目的。

关键词 裂腹鱼类; 感应流速; 底质; 趋性; 诱鱼

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)09-0117-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.09.032



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

A Preference Study on the Four Species of Plateau *Schizothorax* to Flow and Sediment

JIANG Hao^{1,2}, LU Bo¹, CAI Yue-ping² (1. China Renewable Energy Engineering Institute, Beijing 100120; 2. Power China Eco Environmental Technology Co., Ltd., Leshan, Sichuan 614000)

Abstract In order to provide reference for the design of fish luring measures at the entrance of the plateau fishway, this study carried out the experiments on the water flow and sediment of four species of *Schizothorax*, including *Schizothorax oconnori*, *Schizothorax waltoni*, *Schizothorax macropogon* and *Schizopygopsis younghusbandi*. The results showed that: under the condition of 11.3~15.2℃, the range and mean of relative induced velocity of four kinds of *Schizothorax* were 0.26~0.49 (0.37), 0.39~0.61 (0.45), 0.26~0.46 (0.37), 0.19~0.50 (0.33) BL/s, respectively. When the velocity of flow was 0.07 and 0.42 m/s, the fish preferred pebbles with bottom plasmid diameter of 5~7 cm. When the velocity of flow was 0.42 cm/s, the fish preferred pebbles with bottom plasmid diameter of 9~13 cm. Therefore, the design flow velocity at the entrance of the fishway with the four kinds of *Schizothorax* fish as the main passing objects should be at least greater than 0.45 BL/s, so that the fish can sense the flow velocity at the entrance and trace upward. The pebbles with the particle size of 5~13 cm were used as the paving materials at the entrance of the fishway and the bottom of the groove body in order to achieve the purpose of attracting fish.

Key words *Schizothorax*; Induced velocity; Sediment; Preference; Fish lure

筑坝类水利水电工程会影响建设河段的连通性, 使鱼类生境破碎化^[1-2], 而其引起的阻隔效应往往令土著鱼类无法通过洄游完成生活史, 导致鱼类种群规模缩小, 资源量降低^[3], 种群之间的基因交流受到限制^[4]。为缓解上述影响, 过鱼设施的修建得到了发展^[5], 其中较为普遍的过鱼设施是鱼道。但由于对鱼类生活习性和洄游规律等方面的认识还不完善, 现阶段关于鱼道进口位置布置及结构的相关研究较薄弱, 因此在很多工程中鱼类难以顺利找到鱼道入口, 鱼类保护效果无法得到保证^[6]。鱼类能否较快地发现和准确进入鱼道进口, 是鱼道能否成功运行的关键因素之一。

异齿裂腹鱼(*Schizothorax oconnori*)、巨须裂腹鱼(*Schizothorax macropogon*)、拉萨裂腹鱼(*Schizothorax waltoni*)、拉萨裸裂尻(*Schizopygopsis younghusbandi*)均为雅鲁藏布江重要的经济鱼类, 资源量较大, 均具有短距离生殖洄游现象, 常栖息于急流多卵石处。雅鲁藏布江中游的水电开发先期开发四级, 为保护雅鲁藏布江4种裂腹鱼类资源量和遗传多样性, 在其电站的环境影响批复提出了修建鱼道的要求。为切实保证保护效果, 亟需开展相关基础研究, 探究鱼类生态习性, 并应用于鱼道设计, 从而提高鱼类进入鱼道进口的概率。笔者通过开展4种裂腹鱼类对水流和底质趋性试验, 获得裂

腹鱼类的感应流速及其对不同粒径底质的偏好, 旨在为高原鱼道进口设计提供基本资料。

1 材料与方法

1.1 试验鱼类 2018年4—5月在雅鲁藏布江中游加查县外附近河段使用3层流刺网采集4种裂腹鱼类; 选取身体状况良好、未受伤、大于最小性成熟体长的鱼类样本开展试验。为减轻鱼类的应激反应, 试验鱼于当地增殖放流站圆形水池(直径2 m, 高1.5 m)内饥饿暂养1 d, 养殖水源为山泉水, 水温9.14~15.10℃, 溶解氧含量为8.20~13.00 mg/L。试验时用小水盆转运试验鱼类, 以减小鱼类的应激反应。试验水温为11.9~14.5℃, 溶解氧含量为8.77~11.90 mg/L。鱼类测试数量及规格见表1和2。

1.2 试验设备 鱼类对水流的趋性试验设备采用丹麦 Loli-go System 公司生产的环形试验封闭水槽(图1), 鱼类对底质的偏好选择试验设备采用自制开敞式环形水槽(图2)。水槽可分为缓流休息区和高流速区域(高流速区长8 m, 缓流休息区中心线半径为0.9 m; 整个水槽周长约为12 m); 两侧高流速区被认为地划分为IA~D和IIA~D区; 在上方缓流区和下方缓流区两侧分别存在2个恒扭矩伺服电机。电机推水和抽水使开敞式水槽内形成顺时针水流。

水温和溶解氧含量测定采用美国 HACH 公司生产的 HQ30d 型溶氧仪, 流速测定采用南科院生产的 SGY~90 螺旋桨式流速仪。使用摄像和录像设备观测鱼类对不同底质的选择。

作者简介 姜昊(1983—), 男, 江苏扬州人, 高级工程师, 博士, 从事水生生态系统研究。

收稿日期 2019-11-05

表1 鱼类对水流的趋性试验所用鱼类规格

Table 1 The size of fish for fish preference test to water flow

品种 Species	样本数 Sample size//尾	全长 Whole length cm	体高 Body height mm	体宽 Body width mm	体重 Body weight g
拉萨裂腹鱼 <i>S. waltoni</i>	25	22.0~33.0	25~50	21~37	65~228
巨须裂腹鱼 <i>S. macropogon</i>	26	12.0~21.5	14~26	12~20	15~64
异齿裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>	18	16.0~30.0	21~54	24~51	46~205
拉萨裸裂尻 <i>S. younghusbandi</i>	26	18.5~31.0	28~50	22~40	49~215

表2 鱼类对不同底质偏好试验所用鱼类规格

Table 2 The size of fish for fish preference test to different sediments

品种 Species	样本数 Sample size//尾	全长 Whole length cm	体高 Body height mm	体宽 Body width mm	体重 Body weight g
异齿裂腹鱼 <i>S. waltoni</i>	29	23~36	3.1~5.1	2.1~30.0	72~333
巨须裂腹鱼 <i>S. macropogon</i>	24	23~40	3.9~7.0	2.4~4.5	87~490
拉萨裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>	24	23~38	3.3~5.5	2.3~4.2	92~376
拉萨裸裂尻 <i>S. younghusbandi</i>	24	15~36	2.1~5.0	1.6~3.8	27~30

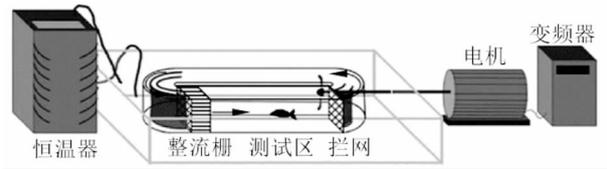


图1 丹麦 Loligo System 环形试验封闭水槽

Fig. 1 Closed loop test tank of Loligo system in Denmark

1.3 试验方法

1.3.1 鱼类对水流的感应试验。采用环形封闭水槽和流速测定仪对流速进行标定。通过调节电机变频器增大水槽中螺旋桨的转速,进而增加装置中的流速;测试电机变频器间隔大小为5 Hz,测量并记录水槽中测试区前中后和左中右流速并取平均值。建立调速器频率(x)与流速(y)的关系式: $y=4.01x (R^2=0.997)$ (图3)。

将暂养24 h后的试验鱼按照头部指向测试水槽顺流方向放置于游泳能力测试水槽中,适应1 h后逐步调大测试段中的流速,同时观察鱼的游泳行为,直至试验鱼掉转方向逆流游动,此时的流速作为试验鱼的感应流速。

1.3.2 鱼类对底质的偏好试验。将基本装置分为I区试验区和II区对照区,在I区试验区增加不同粒径的底质,II区不设置底质(图4);试验水深40 cm;试验光照为自然光。试验流

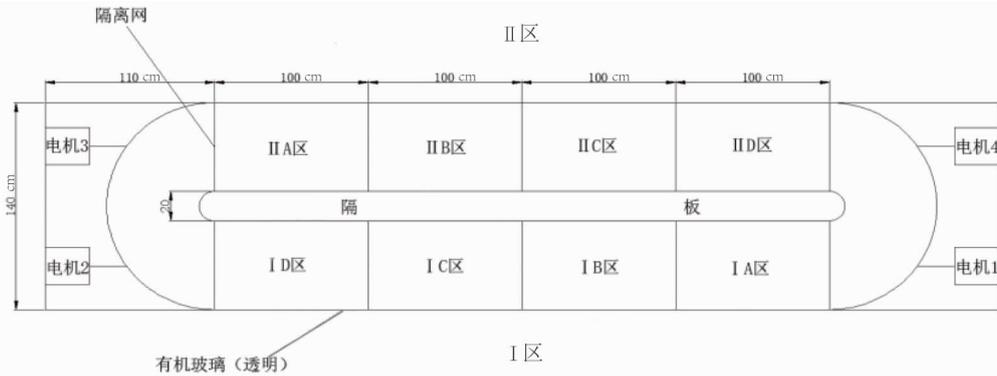


图2 自制的开敞式环形水槽

Fig. 2 Self-made open circular water tank

速:工况1为在IA和IIA断面设置为试验对象的感应流速中值(0.07 m/s),工况2为在IA和IIA断面设置为预期的鱼道进口流速(0.42 m/s)。

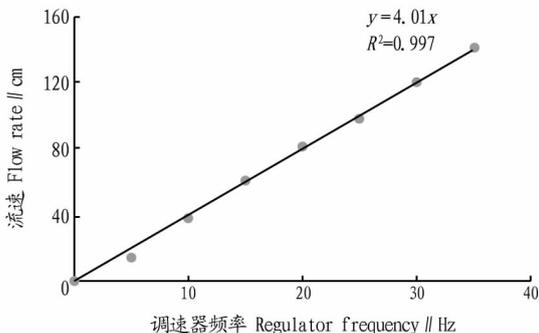


图3 流速与调节频率的相关性分析

Fig. 3 Relationship between flow rate and regulator frequency

首先将装置中放入隔离网,将试验目标鱼16尾分为2

组,分别置入两端的半圆区适应15 min,以消除转移过程对鱼的胁迫;开始进行录像。开启电机建立初始流场,设置电机转速,达到试验鱼的感应流速中值,取出ID左侧和IID右侧的隔离网;开始计时。每隔10 min统计各区鱼类数量,30 min后完成工况1试验。调整电机转速将流速逐渐增大到预期鱼道进口流速,每隔10 min统计各区鱼类数量,30 min后完成工况2试验。每种目标鱼按照上述步骤重复,若目标鱼数量不足10条,可取出试验组和对照组之间的挡鱼隔断,忽略试验组和对照组区分,全部作为试验组直接进行试验。每隔10 min对每种底质上的目标鱼数量进行计数。计数数字除以总数即为目标鱼在此底质的偏好度。

1.4 数据分析 试验数据用SPSS 20.0统计软件进行统计分析,采用单因素方差分析(One-way ANOVA),并利用LSD多重比较法比较各组差异。采用双变量相关分析(bivariate correlation)检验4种裂腹鱼类感应流速与体长之间的关系。统计值

用平均值±标准差($\bar{x}\pm SD$)描述,差异显著性水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 鱼类感应流速测试 在 11.3~16.5 °C 试验条件下,4 种裂腹鱼类绝对感应流速均值范围为 6.67~8.45 cm/s,相对感应流速均值范围为 0.33~0.45 BL/s。相较于其他 3 种裂腹鱼类,拉萨裸裂尻体长显著较小,具较小的绝对感应流速(表 3)。Pearson 相关性分析结果显示,异齿裂腹鱼、拉萨裂

腹鱼和拉萨裸裂尻绝对感应流速与体长显著相关($P < 0.05$),而巨须裂腹鱼绝对感应流速与体长无显著相关($P > 0.05$);4 种裂腹鱼类相对感应流速与体长均无显著相关($P > 0.05$)(表 4)。拉萨裸裂尻相对感应流速显著高于异齿裂腹鱼、拉萨裂腹鱼和巨须裂腹鱼($P < 0.05$);异齿裂腹鱼、拉萨裂腹鱼和巨须裂腹鱼相对感应流速差异不显著($P > 0.05$)(表 3)。

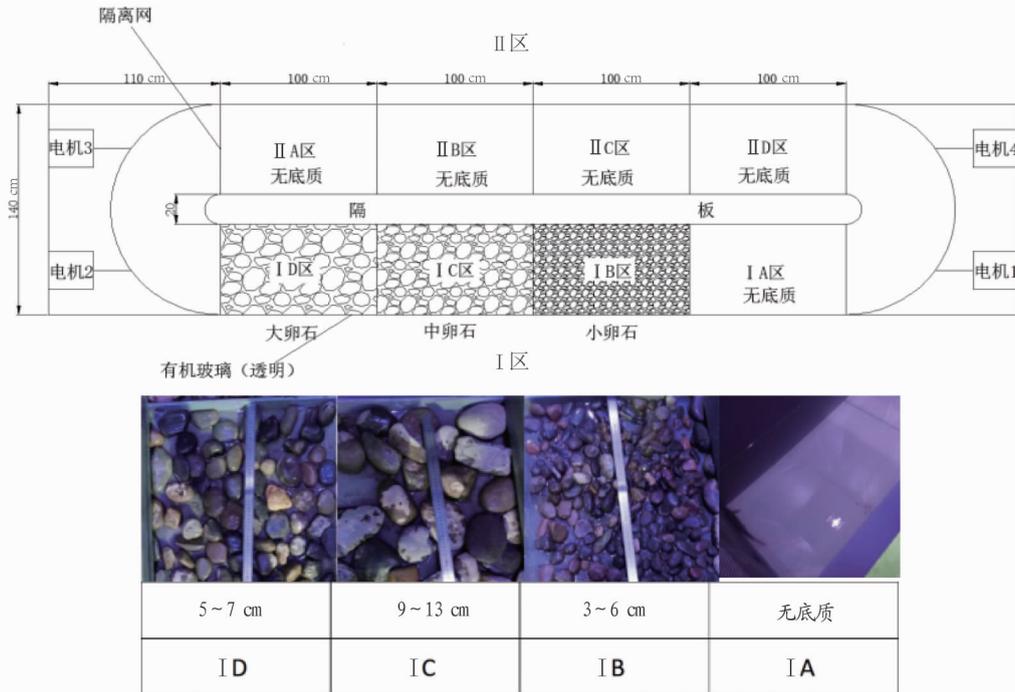


图 4 底质偏好试验装置及底质粒径图

Fig. 4 Sediment preference test device and its particle size

表 3 4 种裂腹鱼类感应流速的比较

Table 3 The induction velocity of four species of *Schizothoracins*

品种 Species	体长 Body length//cm	绝对感应流速 Absolute induction velocity//cm/s		相对感应流速 Relative induction velocity//BL/s	
		$\bar{x}\pm SD$	范围 Range	$\bar{x}\pm SD$	范围 Range
异齿裂腹鱼 <i>S. waltoni</i>	22.86±2.11	8.41±1.21	5.52~10.47	0.37±0.05 b	0.26~0.49
拉萨裸裂尻 <i>S. macropogon</i>	12.45±1.38	6.67±1.46	5.15~10.10	0.45±0.08 a	0.39~0.61
拉萨裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>	23.17±3.07	8.45±1.99	5.33~13.46	0.37±0.07 b	0.26~0.46
巨须裂腹鱼 <i>S. younghusbandi</i>	19.83±2.83	8.15±2.68	4.87~12.90	0.33±0.10 b	0.19~0.50

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters in the same column indicated significant differences ($P < 0.05$)

2.2 鱼类对不同粒径底质的偏好试验 异齿裂腹鱼低流速时, ID 底质偏好度达到 1, 为非常适宜, 而对照组 II D 偏好为 0, 因此低流速时 ID 对应的底质 ID 为其偏好底质; 高流速时, ID 底质偏好度最高为 0.79, 对照组 II D 为 0.33, 非最高值, 因此高流速时 ID 为其偏好底质。因此, 当流速分别为 0.07 和 0.42 m/s 时, ID 区对应底质为异齿裂腹鱼偏好底质(表 5)。同理, 当流速分别为 0.07 和 0.42 m/s 时, ID 区对应底质为拉萨裸裂尻偏好底质(表 6)。

拉萨裂腹鱼低流速时, ID 底质偏好度达到 1, 为非常适

宜, 而对照组 II D 也达到 0.67, 因此不能确定其分布偏好于 ID; 高流速时, IC 底质偏好度最高为 0.42, 对照组 II D 仍为最高(0.58)。因此, 在流速达到 0.42 m/s 时, IC 区对应底质为拉萨裂腹鱼偏好底质(表 7)。

巨须裂腹鱼低流速时, IC 区底质偏好度达到 0.96, 为非常适宜, 而对照组 II C 偏好为 0.67, 是对照组中的最高偏好值, 因此 IC 区不能确定为低流速时的最偏好底质; 高流速时, IC 区底质偏好度最高(0.58), 对照组 II C 区为 0.13, 非最高值。高流速时 IC 区对应底质为其偏好底质。因此, 当流速为

0.42 m/s 时,IC 区对应底质为巨须裂腹鱼偏好底质(表 8)。

表 4 4 种裂腹鱼类感应流速与体长的相关系数

Table 4 The correlation coefficients between body length and induction velocity of four species of *Schizothoracins*

品种 Species	绝对感应流速 Absolute induction velocity	相对感应流速 Relative induction velocity
异齿裂腹鱼 <i>S. waltoni</i>	0.463*	0.284
拉萨裸裂尻 <i>S. macropogon</i>	0.477*	0.268
拉萨裂腹鱼 <i>S. oconnori</i>	0.603*	0.141
巨须裂腹鱼 <i>S. younghusbandi</i>	0.390	0.093

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters in the same column indicated significant differences ($P < 0.05$)

综上所述,当流速分别为 0.07 和 0.42 m/s 时,异齿裂腹鱼和拉萨裸裂尻偏好底质粒径为 5~7 cm;当流速为 0.42 m/s 时拉萨裂腹鱼和巨须裂腹鱼偏好底质粒径为 9~13 cm。

表 5 异齿裂腹鱼对不同粒径底质的偏好

Table 5 The preference of *S. oconnori* to sediment with different particule size

组别 Group	区号 Region number	低流速 Low flow rates cm/s	低流速下的偏好度 Preference at low flow rates	高流速 High flow rates cm/s	高流速下的偏好度 Preference at high flow rates
试验组 Experiment group	IA	6.66	0	39.37	0.04
	IC	6.74	0	40.97	0.08
	ID	6.75	1.00	41.43	0.79
对照组 Control group	IIA	6.58	0	37.54	0.17
	IIB	6.90	0.33	41.34	0.50
	IIC	6.94	0.67	41.66	0
	IID	7.05	0	41.98	0.33

表 6 拉萨裸裂尻对不同粒径底质的偏好

Table 6 The preference of *S. macropogon* to sediment with different particule size

区号 Region number	低流速 Low flow rates cm/s	低流速下的偏好度 Preference at low flow rates	高流速 High flow rates cm/s	高流速下的偏好度 Preference at high flow rates
IA	6.66	0	39.37	0.04
IB	6.71	0	40.86	0.08
IC	6.74	0	40.97	0.08
ID	6.75	1.00	41.43	0.79
IIA	6.58	0	37.54	0.17
IIB	6.90	0.33	41.34	0.50
IIC	6.94	0.67	41.66	0
IID	7.05	0	41.98	0.33

3 讨论

4种裂腹鱼类绝对感应流速均值范围为6.67~8.45 cm/s,

表 7 拉萨裂腹鱼对不同粒径底质的偏好

Table 7 The preference of *S. waltoni* to sediment with different particule size

区号 Region number	低流速 Low flow rates cm/s	低流速下的偏好度 Preference at low flow rates	高流速 High flow rates cm/s	高流速下的偏好度 Preference at high flow rates
IA	6.66	0	39.37	0.21
IB	6.71	0	40.86	0.08
IC	6.74	0	40.97	0.42
ID	6.75	1.00	41.43	0.29
IIA	6.58	0.33	37.54	0.17
IIB	6.90	0	41.34	0.08
IIC	6.94	0	41.66	0.17
IID	7.05	0.67	41.98	0.58

表 8 巨须裂腹鱼对不同粒径底质的偏好

Table 8 The preference of *S. younghusbandi* to sediment with different particule size

区号 Region number	低流速 Low flow rates cm/s	低流速下的偏好度 Preference at low flow rates	高流速 High flow rates cm/s	高流速下的偏好度 Preference at high flow rates
IA	6.66	0	39.37	0.17
IB	6.71	0	40.86	0.13
IC	6.74	0.96	40.97	0.58
ID	6.75	0.04	41.43	0.13
IIA	6.58	0	37.54	0.33
IIB	6.90	0	41.34	0.46
IIC	6.94	0.67	41.66	0.13
IID	7.05	0.33	41.98	0.08

相对感应流速为 0.33~0.45 BL/s。4 种裂腹鱼相对感应流速与体长无关,但体长因素会对绝对感应流速产生一定的干扰。因此,相对感应流速更能准确表达鱼类对水流流速变化的敏感度^[7]。4 种裂腹鱼类相对感应流速较草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)、蒙古鲌(*Cultermongolicus mongolicus*)等鱼类的相对感应流速大,而较厚唇裂腹鱼(*Schizothorax irregularis*)小^[7-9]。相对感应流速种间差异与鱼类长期生活环境和习性密切相关^[9]。对于生活环境和习性类似的 4 种裂腹鱼类,拉萨裸裂尻相对感应流速显著高于其他 3 种裂腹鱼类。这可能与拉萨裸裂尻试验鱼类规格有关。鱼类需要依靠流速的存在和大小来判断其游泳甚至洄游的路线^[10]。

异齿裂腹鱼和拉萨裸裂尻主要摄食着生藻类,拉萨裂腹鱼和巨须裂腹鱼主要摄食水生昆虫和底栖无脊椎动物。当流速分别为 0.07 和 0.42 m/s 时,异齿裂腹鱼和拉萨裸裂尻偏好底质粒径为 5~7 cm;当流速为 0.42 m/s 时,拉萨裂腹鱼和巨须裂腹鱼偏好底质粒径为 9~13 cm。顾孝连等^[11]在对

(下转第 124 页)

表6 肉鸡屠宰试验结果

Table 6 The slaughter test results of broilers in different groups

组别 Group	屠宰率 Slaughter rate//%	半净膛率 Semi- eviscerated rate//%	全净膛率 Whole eviscerated rate//%	腹脂重占活重比例 Proportion of abdominal fat weight in live weight//‰
I	94.26±1.83	88.62±2.56	78.92±2.84	1.46±0.34
II	94.21±1.69	88.51±2.72	79.63±2.70	1.45±0.25
III	94.63±1.88	89.34±2.30	79.25±2.46	1.44±0.37
IV	94.59±1.60	89.72±1.82	79.29±2.69	1.45±0.25
V	93.04±1.77	88.19±2.12	78.45±2.77	1.49±0.50

注:各组样本数为30

Note:The sample number in each group is 30

3 结论与讨论

综上所述,在相同饲养条件下,饲料中添加高剂量(40 mg/kg)、中剂量(25 mg/kg)、低剂量(5 mg/kg)受试药物和对照药物后,各组间肉鸡的屠宰指标不具有显著差异,但能一定程度降低肉鸡的腹泻率与死亡率,提高肉鸡的日增重和饲料转化率。结果显示,亚甲基水杨酸杆菌肽预混剂对肉鸡在21~49日龄提高饲料效率和促生长的效果比1~20日龄的效果更好,且高剂量(40 mg/kg)、中剂量(25 mg/kg)受试药物组的效果差异不明显,与添加杆菌肽锌预混剂(25 mg/kg)的阳性药物对照组效果相当;低剂量(5 mg/kg)受试药物组的效果不明显。

(上接第120页)

中华鲟(*Acipenser sinensis*)幼鱼底质选择的研究中发现,其更偏好于沙质底质,并推测鲟鱼选择沙底质可能与其摄食方式有关。南方洞穴鱼(*Typhlichthys subterraneus*)更偏好于鹅卵石,并推测可能与其摄食和躲避高流速水流有关^[12]。

4 结论

感应流速是鱼道进口设计中的一个重要指标。当鱼道主要过鱼对象为异齿裂腹鱼、拉萨裸裂尻、拉萨裂腹鱼和巨须裂腹鱼时,鱼道进口过鱼设计流速应大于0.45 BL/s。在该研究中的4种裂腹鱼类均为底层栖息鱼类,且栖息环境多有卵石。4种裂腹鱼类对不同粒径底质的偏好可能与食性有关。在鱼道进口辅助诱鱼措施设计时,针对这4种裂腹鱼类,可考虑将5~13 cm粒径的卵石作为鱼道入口和槽身底部的铺装材料,以起到诱鱼的作用。

参考文献

[1] BARTHEM R B, DE BRITO RIBEIRO M C L, PETRERE M, JR. Life strategies of some long-distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the Amazon Basin[J]. Biological conservation, 1991, 55(3):

综合考虑,亚甲基水杨酸杆菌肽预混剂的成本和促生长效果,推荐使用剂量确定为25 mg/kg。

促生长试验结果表明,亚甲基水杨酸杆菌肽可以降低肉鸡死亡率,并起到促生长的效果。通过对比不同浓度梯度的亚甲基水杨酸杆菌肽对肉鸡的促生长效果,发现15%亚甲基水杨酸杆菌肽预混剂用于肉鸡促生长时,最佳推荐剂量为1 kg 饲料 25 mg(以杆菌肽计)。

参考文献

[1] 郝晔. 日粮中添加亚甲基水杨酸杆菌肽对断奶仔兔生长性能和肠道健康的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2017.
 [2] 尾崎久雄. 鱼类血液与循环生理[M]. 许学龙,熊国强,缪圣赐,译. 上海:上海科学技术出版社, 1982:401-408.
 [3] VISEK W J. The mode of growth promotion by antibiotics[J]. Journal of animal science, 1977, 46(5):1447-1469.
 [4] CARLILE F S. Ammonia in poultry houses: A literature review[J]. World's poultry science journal, 1984, 40(2):99-113.
 [5] WARREN K S, NEWTON W L. Portal and peripheral blood ammonia concentrations in germ-free and conventional guinea pigs[J]. American journal of physiology, 1959, 197(3):717-720.
 [6] 周臣飞,李俊辉,季朝金. 杆菌肽类饲料添加剂在畜禽养殖中的应用[J]. 中国动物保健, 2011(12):8-11.
 [7] 刘学剑. 杆菌肽锌在畜禽饲养中的应用[J]. 江西饲料, 1996(3):7-8.
 [8] 杨汉博,王峰. 新型肽类饲料添加剂——亚甲基水杨酸杆菌肽[J]. 饲料工业, 2013(14):46-48.
 [9] FDA. NADA 046-592 BMD® -supplemental approval[Z]. 1988.
 [10] 农业部兽医局. 中华人民共和国农业部公告第1998号[A]. 2013-09-30.

339-345.

[2] 蔡露,房敏,涂志英,等. 与鱼类洄游相关的鱼类游泳特性研究进展[J]. 武汉大学学报(理学版), 2013, 59(4):363-368.
 [3] LUCAS M C, BARAS E. Migration of freshwater fishes[M]. Oxford:Blackwell Science Ltd, 2001:420.
 [4] PELICICE F M, POMPEU P S, AGOSTINHO A A. Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish[J]. Fish and fisheries, 2015, 16(4):697-715.
 [5] 陈凯麒,葛怀凤,郭军,等. 我国过鱼设施现状分析及鱼道适宜性管理的关键问题[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(4):1-6.
 [6] 陈凯麒,常仲农,曹晓红,等. 我国鱼道的建设现状与展望[J]. 水利学报, 2012, 43(2):182-188, 197.
 [7] 王晓臣,邢娟娟. 5种鱼感应流速比较分析[J]. 水生态学杂志, 2018, 39(2):77-81.
 [8] 李志敏,陈明曦,金志军,等. 叶尔羌河厚唇裂腹鱼的游泳能力[J]. 生态学杂志, 2018, 37(6):1897-1902.
 [9] 白艳勤,路波,罗佳,等. 草鱼、鲢和瓦氏黄颡鱼幼鱼感应流速的比较[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8):2085-2089.
 [10] 杨宇,严忠民,乔晔. 河流鱼类栖息地水力学条件表征与评述[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2007, 35(2):125-130.
 [11] 顾孝连,庄平,章龙珍,等. 长江口中华鲟幼鱼对底质的选择[J]. 生态学杂志, 2008, 27(2):213-217.
 [12] SCHUBERT A L S, NOLTIE D B. Laboratory studies of substrate and microhabitat selection in the southern cavefish (*Typhlichthys subterraneus* Girard)[J]. Ecology of freshwater fish, 1995, 4(4):141-151.