

两种生长阶段的牛蛙蝌蚪对盐度的耐受性研究

梁家豪, 鲜雪梅* (阿坝师范学院资源与环境学院, 四川汶川 623002)

摘要 在人工养殖条件下, 盐度常作为影响蝌蚪生长发育的环境因子之一。在实验室温度(23.1±2.0)℃环境下, 采用单因子静态急性毒性试验法研究2种生长期牛蛙(*Rana catesbeiana* Shaw)蝌蚪对水体盐度的耐受能力。结果表明, 在试验条件水质下, 处于25期牛蛙蝌蚪及五趾分化期牛蛙蝌蚪的24、48、72和96 h半致死浓度分别为6.41、5.44、5.50、5.37 g/L及12.56、10.48、7.67、4.09 g/L, 安全值分别为1.18和2.19 g/L。在相同条件下, 五趾分化期牛蛙蝌蚪比25期牛蛙蝌蚪对盐度的耐受能力更强。建议在人工养殖过程中, 将25期牛蛙蝌蚪及五趾分化期牛蛙蝌蚪分池饲养, 二者长期生存的安全盐度控制在1.3 g/L以下。

关键词 牛蛙蝌蚪; 半致死浓度; 盐度; 耐受性; 安全值

中图分类号 S917.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)14-0085-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.14.022



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on the Tolerance to Salinity of Tadpole of *Rana catesbeiana* Shaw at Two Growth Stages

LIANG Jia-hao, XIAN Xue-mei (College of Resources and Environment, Aba Teachers University, Wenchuan, Sichuan 623002)

Abstract Under the conditions of artificial culture, salinity was often used as one of the environmental factors that affected the growth and development of tadpoles. The tolerance to salinity of tadpoles of *Rana catesbeiana* Shaw at two growth stages was studied by using a single-factor static acute toxicity test under the laboratory environment with an average temperature of (23.1±2.0)℃. The results showed that under the experimental conditions, 24, 48, 72 and 96 h LC₅₀ of *R. catesbeiana* tadpoles at the 25 stage and 5-toed differentiation stage were 6.41, 5.44, 5.50, 5.37 and 12.56, 10.48, 7.67, 4.09 g/L respectively, SC value was 1.18 and 2.19 g/L respectively. Under the same conditions, the tolerance to salinity of *R. catesbeiana* tadpole at 5-toed differentiation stage was stronger than that of bullfrog tadpole at the 25 stage. It was suggested that in the process of artificial breeding, *R. catesbeiana* tadpoles at 25-stage and 5-toed differentiation stage should be fed in separate ponds, and the safe salinity of their long-term survival should be controlled below 1.3 g/L.

Key words *Rana catesbeiana* tadpoles; Half lethal concentration; Salinity; Tolerance; SC

牛蛙(*Rana catesbeiana* Shaw)属于两栖纲(Amphibia)无尾目(Anura)蛙科(Ranidae)^[1], 体型较大。牛蛙肉味道非常鲜美, 且肉质细腻嫩滑, 含有丰富的营养元素, 具有较高的药用价值。牛蛙肉不仅可以食用, 而且可以药用调理, 蛙皮也能供人使用, 可以说是名副其实的“宝藏蛙”。牛蛙肉可作为上等美味食材和高级的养生药膳, 是一种蛋白质含量高、脂肪和胆固醇含量低的健康肉类。牛蛙肉的药用价值也非常高, 具有滋补解毒的功效^[2]。对于做完手术后需要营养恢复的伤者来说, 牛蛙肉可以促进伤口的愈合。此外, 牛蛙皮也作为乐器原材料和皮革制作原料^[3], 其品质优良, 还可以提炼高级别黏胶^[4]; 牛蛙体内脂肪可炼制蛙油^[5], 剩余一些牛蛙的下脚料可经过加工制成肉类饲料。

人工养殖的牛蛙生长速度快、产量高、价值高、成本低, 具有较高的经济效益^[6]。20世纪50年代末期我国首次引入该物种^[7]。迄今为止, 牛蛙养殖在我国经过多年的迅速发展, 已成为我国特种水产养殖的主要品种之一。目前国内研究大多集中在牛蛙的人工养殖和育种等方面^[8-17]。在人工养殖蛙类过程中, 影响个体生长的主要因素有水质、温度^[18-21]、营养水平^[22]、光照、养殖密度^[8-17]等。对蝌蚪而言, 水质的影响因素尤为重要, 包括pH、盐度、碱度等^[23-29]。

在两栖类动物的人工养殖过程中, 可以通过离子诱导技

术来提高雌蛙比例^[30], 该方法使用的主要盐类为氯化钠, 而氯化钠也是人工养殖水产过程中常用于消毒和预防疾病的药物。国内有关水生生物盐度适应性的研究大多集中在鱼类、虾类^[31-32], 不同鱼类的盐度耐受能力有明显差异^[33-34], 如鲫鱼幼鱼对盐度的耐受能力高于大鳞鲂幼鱼、松浦镜鲤幼鱼、草鱼幼鱼和鲢鱼幼鱼^[35]。目前蛙类蝌蚪对盐度耐受性的相关研究主要集中在沼泽绿牛蛙(*Rana grylio*)蝌蚪、棘胸蛙蝌蚪、中华大蟾蜍蝌蚪和中国林蛙蝌蚪。研究表明, 沼泽绿牛蛙蝌蚪属于狭盐性和低耐盐动物, 其试验安全值为1.9 g/L^[23], 而中国林蛙蝌蚪是一种狭盐性、低耐盐的漠盐种生物, 其安全值应控制在2.0 g/L以下^[24-27]。李三相等^[28]也认为中国林蛙蝌蚪长期生存的盐度上限为2.0 g/L。中国林蛙变态蝌蚪虽具有一定的盐度适应能力, 但安全值较低, 因此在生产上用氯化钠消毒时, 其浓度应控制在10.0 g/L以下, 而用于提高雌蛙比例时盐度控制在2.0 g/L以下^[29]。在实际养殖生产中, 常存在因化学药剂使用不规范、用量控制不到位而导致蝌蚪的大量死亡, 从而造成大量的经济损失。牛蛙作为主要养殖蛙类之一, 其蝌蚪的盐度耐受性相关资料仍相对较少。笔者通过设置不同梯度盐度条件, 观察并记录牛蛙蝌蚪生存在相应水体中的存活情况和急性中毒行为表现, 探究牛蛙蝌蚪生存的安全盐度值以及适应盐度上限, 旨在为人工养殖牛蛙过程中氯化钠的使用量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验以处于五趾分化期^[36]大牛蛙蝌蚪[体长(10.74±2.74)cm, 体重(10.60±4.80)g]和处于25期^[36]小牛蛙蝌蚪[体长(0.93±0.14)cm, 体重(1.12±0.02)×10⁻²g]为

基金项目 阿坝师范学院青年基金项目(ASC20-04); 国家级大学生创新创业训练项目(202010646031); 2019年学生科研项目(201910089, 201910099); 阿坝师范学院质量工程项目(201909023)。

作者简介 梁家豪(1996—), 男, 四川西昌人, 研究方向: 动物生理生态。*通信作者, 讲师, 从事动物生理生态研究。

收稿日期 2020-12-23

研究对象,大、小牛蛙蝌蚪的盐度耐受性试验使用的容器分别为20 L塑料圆桶和6 L方形塑料盆。试验前均在室内驯养2 d,试验用水为曝气2 d的自来水,盐度为0.097 g/L(经济型便携式盐度计),pH保持与野外自然生活水体相当,控制在6.8~7.0,数值有偏差的试验组用0.1 mol/L HCl和0.1 mol/L NaOH调节至安全值^[37-38];试验期间平均水温保持在23.1 ℃,空气湿度保持在80%左右,试验期间不喂食、不换水。

1.2 试验方法 试验采用单因子急性毒性试验法。以水体中氯化钠浓度作为盐度耐受试验指标,试验所用氯化钠为市场在售食用盐。该试验分为预试验和正式试验。预试验设置的盐度梯度按等比例递增,设立7个试验组(0.5、1.0、2.0、4.0、8.0、16.0 g/L)和空白对照组(以曝气自来水作为试验用水),每组设置3个平行试验。根据预试验结果,确定正式试验的盐度范围,设置8个试验组(2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0 g/L)和空白对照组(以曝气自来水作为试验用水),每组设立3个平行试验。每个试验组随机放入15尾蝌蚪。观察并记录24、48、72和96 h蝌蚪的行为表现及死亡数量,并及时清理死亡蝌蚪,对蝌蚪死亡的判别标准如下:蝌蚪沉落或漂浮在水面,腹部朝上,轻触蝌蚪体无反应即视为死亡。

1.3 数据处理 试验数据用WPS 2019软件整理,使用SPSS 23.0软件进行数据分析,根据不同时间的死亡率,以死亡率和浓度建立半对数坐标,采用直线内插法计算出半致死浓度(LC₅₀),按以下公式计算安全值(SC)^[39]:

$$SC = 48 \text{ h LC}_{50} \times 0.3 / (24 \text{ h LC}_{50} / 48 \text{ h LC}_{50})^2 \quad (1)$$

式中,24 h LC₅₀、48 h LC₅₀为24 h和48 h的半致死浓度;SC为安全值。

2 结果与分析

2.1 各盐度下牛蛙蝌蚪的中毒行为表现

2.1.1 小牛蛙蝌蚪。试验24 h后4.0、5.0、6.0 g/L试验组小蝌蚪均停栖在水底、正常游泳,7.0 g/L试验组小蝌蚪活力下降,游动缓慢。随着试验时间的延长,5.0、6.0、7.0 g/L试验组逐渐出现游动急促,接着活力下降、游动缓慢,甚至有个别出现侧倒现象(表1),侧倒个体数与第二天死亡个体数几乎相等。死亡蝌蚪体型较活蝌蚪明显缩小,体泛灰色,躯体僵直,尾根部弯曲(图1a、b);在SOPTOP光学显微镜下,以PL10×/22(目镜)×4×/0.10(与10×/0.25的物镜)倍数观察,尾部边缘破损,躯体少部分皮肤破损,随着试验时间的延长,破损程度增大(图1c、d)。

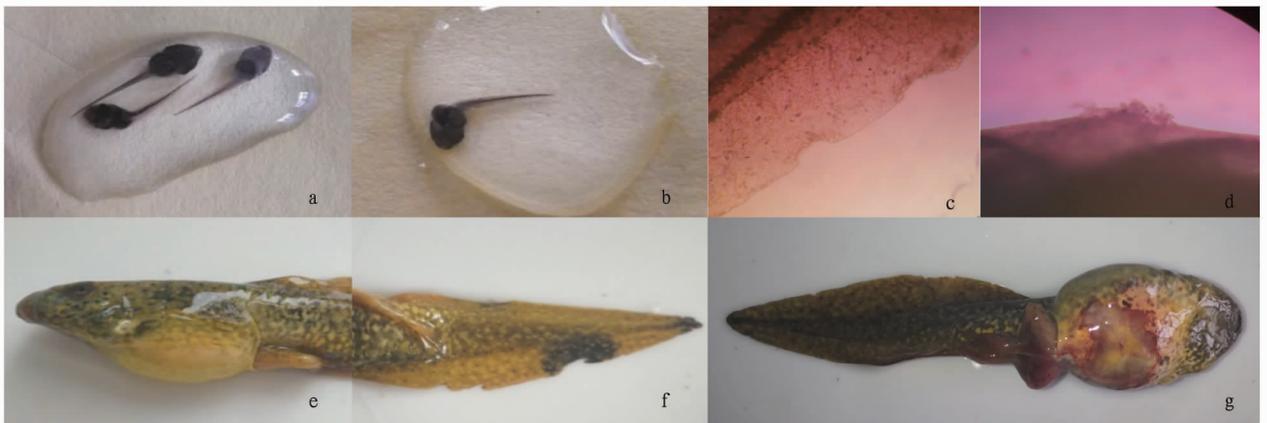
表1 各盐度下小牛蛙蝌蚪的中毒症状

Table 1 The poisoning symptoms of small tadpole of *R. catesbeiana* at various salinity

时间 Time//h	盐度 Salinity//g/L					
	0(空白 Blank)	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
24	无异常	停栖水底	停栖水底	停栖水底	活力下降游动缓慢	—
48	无异常	停栖水底	停栖水底	游动急促	出现侧倒	—
72	无异常	停栖水底	偶有游动活力下降	偶有游动活力下降	—	—
96	无异常	偶有游动	出现侧倒	出现侧倒	—	—

注:“—”表示试验个体全部死亡

Note:“—” indicated all test individuals died



注:a、b.小牛蛙蝌蚪肤色泛灰;c.小牛蛙蝌蚪尾部破损;d.小牛蛙蝌蚪头部破损;e.大牛蛙蝌蚪皮肤皱缩;f.大牛蛙蝌蚪尾部缺损;g.大牛蛙蝌蚪被啃食

Note:a,b.Small tadpole of *R. catesbeiana* had greyish skin;c.Small tadpole of *R. catesbeiana* occurred tail damage;d.Small tadpole of *R. catesbeiana* occurred head damage;e.Large tadpole of *R. catesbeiana* occurred skin shrinkage;f.Large tadpole of *R. catesbeiana* occurred tail defect;g.Large tadpole of *R. catesbeiana* was gnawed

图1 大、小牛蛙蝌蚪死亡情况

Fig.1 Death of large and small tadpoles of *R. catesbeiana*

2.1.2 大牛蛙蝌蚪。大牛蛙蝌蚪在试验过程中的行为表现如表 2 所示。由表 2 可知,试验 24 h 后 2.0、3.0、4.0、5.0 g/L 试验组大牛蛙蝌蚪表现相似,停栖水底,偶尔浮出水面换气,游泳能力正常;6.0、7.0、8.0 g/L 试验组大牛蛙蝌蚪在试验开始 1 h 左右出现间歇性跃出水面的现象,24 h 后出现 1~2 尾侧倒,人为刺激后能正常游动。48 h 后 2.0、3.0、4.0 g/L 试验组和空白对照组的大牛蛙蝌蚪行为无明显差别,停栖水底,偶有游动。

试验开始 48 h,5.0 g/L 及以上盐度试验组出现侧翻现象,人为刺激后反应速度明显变慢且游动速度也有所下降,盐度越高现象越明显。72 和 96 h 后各组大牛蛙蝌蚪的行为较之前变化不大,随着盐度的升高,大牛蛙蝌蚪的反应速度明显下降。死亡的蝌蚪皮肤出现不同程度皱缩,集中出现在

腹中部至后肢根部(图 1e),随着盐度的升高和试验时间的延长,皱缩程度加重。72 h 6.0 g/L 及以上试验组个别试验个体的尾尖处有轻微破损,出现小弧形缺口(图 1f)。死亡个体中个别有啃食现象,腹部皮肤不完整,中部泛白,边缘泛红(图 1g)。

2.2 死亡率、致死浓度及安全值

2.2.1 小牛蛙蝌蚪。由表 3 可知,在试验盐度范围内,随着盐度的升高,各试验组小牛蛙蝌蚪的死亡率逐渐增加。盐度为 8.0 g/L 试验组小牛蛙蝌蚪 24 h 死亡率为 100%,盐度为 7.0 g/L 试验组小牛蛙蝌蚪 48 h 死亡率超过 93%,盐度为 6.0 g/L 试验组小牛蛙蝌蚪 96 h 死亡率为 100%,对照组的死亡率为 0。从表 3 可以看出,试验 96 h 内盐度 4.0 g/L 试验组小牛蛙蝌蚪的死亡率几乎无变化。

表 2 不同盐度下大牛蛙蝌蚪中毒症状

Table 2 The poisoning symptoms of large tadpole of *R.catesbeiana* at various salinity

时间 Time h	盐度 Salinity // g/L							
	0(空白 Blank)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
24	无异常	停栖水底,偶尔浮出水面换气	停栖水底,偶尔浮出水面换气	停栖水底,偶尔浮出水面换气	停栖水底,偶尔浮出水面换气	间歇性跃出水面	间歇性跃出水面	间歇性跃出水面
48	无异常	停栖水底	停栖水底	停栖水底	出现侧倒	出现侧倒	出现侧倒	出现侧倒
72	无异常	停栖水底	出现侧倒	偶有游动	偶有游动	出现侧倒	偶有游动活力下降	偶有游动活力下降
96	无异常	出现侧倒	偶有游动	出现侧倒	偶有游动	偶有游动活力下降	偶有游动活力明显下降	偶有游动活力明显下降

采用直线内插法计算各试验盐度对小牛蛙蝌蚪的零致死浓度、半致死浓度、全致死浓度和安全值(表 3)。由表 3 可知,24 h LC_{50} 为 6.41 g/L,48 h LC_{50} 为 5.44 g/L,72 h LC_{50} 为 5.50 g/L,96 h LC_{50} 为 5.37 g/L,安全值(SC)为 1.18 g/L。

2.2.2 大牛蛙蝌蚪。由表 4 可知,在试验盐度范围内,随着盐度的升高,各试验组大牛蛙蝌蚪的死亡率总体上呈增加趋势。从表 4 可以看出,盐度为 2.0、3.0 和 5.0 g/L 试验组 24 h

死亡率均为 0,其余组死亡率不超过 13.3%。4.0、7.0 和 8.0 g/L 试验组 48 h 死亡率最高(26.7%),2.0 和 5.0 g/L 试验组 48 h 死亡率最低(6.7%)。5.0 和 8.0 g/L 试验组 72 h 死亡率均为 53.3%。其余试验组 72 h 死亡率均未超过 20%。2.0 g/L 试验组 96 h 死亡率最低(33.3%),其余试验组死亡率均大于等于 53.3%,其中 8.0 g/L 试验组 96 h 死亡率最高,为 80%。对照组大牛蛙蝌蚪的死亡率为 0。

表 3 不同盐浓度下小牛蛙蝌蚪的死亡率、致死值和安全浓度

Table 3 Mortality rate, lethal value and safety concentrations of small tadpoles of *R.catesbeiana* at various salinity

盐度 Salinity g/L	24 h		48 h		72 h		96 h	
	死亡数 尾	死亡率 %	死亡数 尾	死亡率 %	死亡数 尾	死亡率 %	死亡数 尾	死亡率 %
0(空白)	0	0	0	0	0	0	0	0
4.0	1	6.7	0	6.7	0	6.7	0	6.7
5.0	0	0	0	0	3	20.0	0	20.0
6.0	3	20.0	7	66.7	2	80.0	3	100
7.0	14	93.0	1	100				
8.0	15	100						
LC_0 // g/L		5.50		3.99		4.66		4.75
LC_{50} // g/L		6.41		5.44		5.50		5.37
LC_{100} // g/L		8.00		7.00		6.33		6.00

采用直线内插法计算各试验盐度对大牛蛙蝌蚪的零致死浓度、半致死浓度、全致死浓度和安全值(表 4)。由表 4 可知,24 h LC_{50} 为 12.56 g/L,48 h LC_{50} 为 10.48 g/L,72 h LC_{50} 为

7.67 g/L,96 h LC_{50} 为 4.09 g/L,安全值为 2.19 g/L。

3 讨论

不同动物的渗透压调节方式不同^[40],对盐度的耐受性

表4 各盐度下大牛蛙蝌蚪的死亡率、致死值和安全浓度

Table 4 Mortality, lethal value and safe concentrations of large tadpoles of *R. catesbeiana* at various salinity

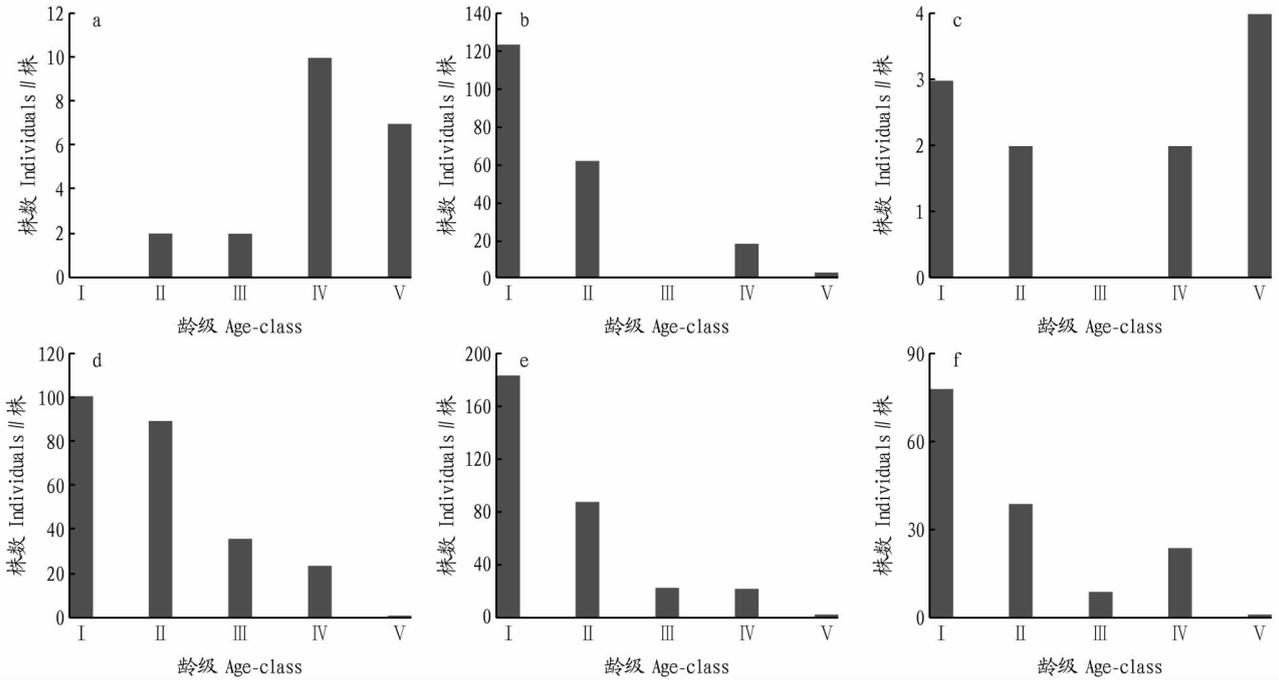
盐度 Salinity g/L	24 h		48 h		72 h		96 h	
	死亡数 尾	死亡率 %	死亡数 尾	死亡率 %	死亡数 尾	死亡率 %	死亡数 尾	死亡率 %
0(空白)	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0	0	0	1	6.7	1	13.3	3	33.3
3.0	0	0	2	13.3	2	26.7	4	53.3
4.0	2	13.3	2	26.7	2	40.0	3	60.0
5.0	0	0	1	6.7	7	53.3	3	73.3
6.0	1	6.7	2	20.0	2	33.3	5	66.7
7.0	2	13.3	2	26.7	3	46.7	4	73.3
8.0	2	13.3	2	26.7	4	53.3	4	80.0
LC ₀ //g/L	4.98		3.01		2.67		2.16	
LC ₅₀ //g/L	12.56		10.48		7.67		4.09	
LC ₁₀₀ //g/L	20.16		17.94		12.67		10.34	

存在明显差异。研究发现,中华小长臂虾^[31]的盐度 96 h LC₅₀为34.31 g/L,黑斑口虾蛄对盐度的适应性较强,其适宜盐度范围为 18~30 g/L^[32],麦穗鱼的盐度 96 h LC₅₀为 11.246 g/L^[33],昆明裂腹鱼幼鱼 96 h LC₅₀为 11.819 g/L^[34],大磷肥、草鱼、镜鲤、鲫和鲢的 96 h LC₅₀分别为 (11.744±1.749)、(9.913±1.354)、(10.686±1.075)、(12.663±0.408)和(9.380±0.589) g/L^[35],淡水鱼类的盐度耐受性比较接近。牛蛙蝌蚪对盐度的耐受能力相对较弱,该试验发现小牛蛙蝌蚪和大牛蛙蝌蚪的盐度 96 h LC₅₀分别为 5.37 和 4.09 g/L。两栖纲不同蛙类蝌蚪对盐度的耐受性差异不明显。沼泽绿牛蛙的安全值为 1.9 g/L^[23];杨富亿等^[24-27]报道吉林省内中国林蛙蝌蚪的安全值应控制在 2.0 g/L 以下,甘肃省内中国林蛙蝌蚪的安全值为 1.93 g/L^[28]。该研究结果显示,大牛蛙蝌蚪的盐度安全值为 2.19 g/L,与中国林蛙、沼泽绿牛蛙蝌蚪的研究结果相近,牛蛙蝌蚪可能也具有狭盐性。25 期的小牛蛙蝌蚪的盐度安全值仅为 1.18 g/L,可能是由于其龄期相对较小,自身渗透调节系统发育不完善,其对盐度的耐受能力较弱,导致其安全值偏低^[41]。因此,当渔业水体盐度为 1.5 g/L 时,适宜牛蛙蝌蚪的生存。建议在人工养殖过程中,将 25 期牛蛙蝌蚪及五趾分化期牛蛙蝌蚪分池饲养,二者长期生存的安全盐度控制在 1.3 g/L 以下。该试验对不同生长阶段牛蛙蝌蚪的盐度耐受性进行了比较研究,探究了不同生长阶段的牛蛙蝌蚪的半致死浓度以及安全值,为人工养殖牛蛙过程中氯化钠的用量提供了理论依据。

参考文献

- [1] 黄权,王艳国.经济蛙类养殖技术[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [2] 霍亮.牛蛙的生物学特性? 饲养方法及药用价值[J].养殖技术顾问,2013(5):205.
- [3] 于开起,吴宏林,惠立丽.高档牛蛙手套革加工技术[J].中国皮革,1998,27(3):23.
- [4] 李从虎,周颖,张笑笑,等.牛蛙皮明胶提取工艺优化及其性质分析[J].食品工业,2018,39(7):157-161.
- [5] 蔡凤坤.牛蛙、中华大蟾蜍及东北林蛙输卵管管理化特性的比较研究[D].长春:吉林农业大学,2007.
- [6] 郭晓强,颜军,郭晓勇,等.牛蛙系列肉制品加工研究[J].成都大学学报(自然科学版),2006,25(1):42-44.
- [7] 周伟,李明会,张兴宇,等.同一生境牛蛙与昭觉林蛙蝌蚪的食性比较[J].动物学研究,2005,26(1):89-95.

- [8] 唐晓玲.牛蛙生态养殖技术要点[J].农村新技术,2019(11):31-32.
- [9] 范琦,谢白云.牛蛙的人工养殖[J].农家参谋,2017(10):177.
- [10] 彭云东,黄志诚,彭云中.高原牛蛙的人工繁殖[J].科学养鱼,2016(10):12.
- [11] 魏世宝.特种经济动物——牛蛙养殖[J].中国畜禽种业,2015,11(9):35.
- [12] 杨燕.牛蛙幼蛙的饲养管理[J].农村新技术,2015(4):29-30
- [13] 刘家华.牛蛙蝌蚪的日常管理[J].农家之友,2015(4):53.
- [14] 廖丽松.流水式牛蛙养殖技术[J].福建农业,2012(2):28-29.
- [15] 许俊保.牛蛙的人工繁殖与养殖技术[J].农林科学实验,1994(3):40-41.
- [16] 王顺海,李杏林,邓焕军.牛蛙的饲养管理[J].畜牧与兽医,1993,25(2):83-84.
- [17] 毛铭廷,霍文芳.兰州养殖牛蛙的实验研究[J].西北师范大学学报(自然科学版),1994,30(4):51-52.
- [18] 陶志英,马保新,余智杰,等.环境因子对棘胸蛙蝌蚪生长发育的影响[J].湖南农业科学,2015(2):55-56,59.
- [19] 王守红,李豪,刘露莎,等.温度对饰纹姬蛙蝌蚪生长的影响[J].动物学杂志,2018,53(2):191-197.
- [20] 王立志,李晓晨,张春博.大蟾蜍蝌蚪与中国林蛙蝌蚪生长发育的温度效应[J].四川动物,2005,24(3):355-358.
- [21] 王立志,李晓晨,孙涛.中国林蛙蝌蚪和大蟾蜍蝌蚪的最适温度、逃避温度及致死温度[J].动物学杂志,2005,40(2):23-27.
- [22] 丁李.豆粕替代鱼粉对牛蛙生长、肠道健康、肠道植酸酶活性及基因多样性的影响[D].厦门:集美大学,2019.
- [23] 黄辨非,罗静波.沼泽绿牛蛙蝌蚪对盐度和酸碱度的耐受性研究[J].水利渔业,1998,19(5):26-28.
- [24] 杨富亿,邵庆春,李景林,等.中国林蛙蝌蚪对盐度的适应性[J].水利渔业,2004,25(2):36-38.
- [25] 杨富亿,邵庆春,李景林,等.中国林蛙蝌蚪对盐度和 pH 的耐受性[J].生态学杂志,2004,23(2):37-40.
- [26] 杨富亿,邵庆春,李景林,等.盐度、碱度对中国林蛙蝌蚪及变态幼蛙的毒性影响[J].东北林业大学学报,2004,32(1):39-42.
- [27] 杨富亿,孙桂芹,王辉.食盐和碱度对中国林蛙蝌蚪的影响[J].吉林林业科技,2003,32(2):4-6,13.
- [28] 李三相,兰小平,朱新燕.林蛙蝌蚪对盐度、碱度的耐受性研究[J].黑龙江畜牧兽医,2011(3):146-148.
- [29] 杨富亿,邵庆春,李景林,等.中国林蛙变态蝌蚪对 pH、盐度和碱度的适应性[J].应用生态学报,2004,15(8):1411-1415.
- [30] 孔祥文,于立志,杨桂芹,等.中国林蛙孵化技术研究[J].辽宁林业科技,2000(4):23-24,33.
- [31] 包杰,姜宏波,付佩佩,等.中华小长臂虾对盐度的耐受性及盐度对其呼吸代谢的影响[J].生态学杂志,2018,37(11):3351-3356.[32] 吴耀华,赵延霞.黑斑口虾蛄对水温、盐度和 pH 的耐受性研究[J].水产科学,2015,34(8):502-505.
- [33] 徐晓丽,张彩军,吴剑峰,等.麦穗鱼对盐度和酸碱度的耐受性[J].湖北农业科学,2012,51(7):1423-1425.
- [34] 胡思玉,陈雪梅,赵海涛,等.昆明裂腹鱼幼鱼对盐度的耐受性研究[J].四川动物,2014,33(3):430-433.



注: a. 窿缘桉, b. 罗汉松, c. 黄桐, d. 广东润楠, e. 降真香, f. 猴耳环

Note: a. *Eucalyptus exserta*, b. *Podocarpus macrophyllus*, c. *Endospermum chinense*, d. *Machilus kwangtungensis*, e. *Acronychia oligophlebia*, f. *Archidendron clypearia*

图3 卜岭村风水林优势种群的年龄结构

Fig.3 Age-structure of the Fengshui Woods of Buling

参考文献

[1] 关传友.中国古代风水林探析[J].农业考古,2002(3):239-243.
 [2] 广东省植物研究所.广东植被[M].北京:科学出版社,1976.
 [3] 吴征镒.中国植被[M].北京:科学出版社,1980.
 [4] 人类和大自然共同创造的建筑——风水林[J].资源与人居环境,2005(11):30-31.
 [5] 曹洪麟,蔡锡安,彭少麟,等.鹤山龙口村边次生常绿阔叶林群落分析[J].热带地理,1999,19(4):312-317.
 [6] 吕浩荣,刘颂颂,叶永昌,等.东莞凤岗镇鹭果木-黄桐风水林群落特征分析[J].热带亚热带植物学报,2009,17(2):137-145.
 [7] 吴林芳,黄明钊,马磊,等.广州增城腊田埔翻白叶树林群落分析[J].广东林业科技,2012,28(2):1-8.
 [8] 孔波,曹洪麟,马磊,等.广州市格木风水林的群落特征分析[J].热带地理,2013,33(3):307-313,332.
 [9] 廖宇红,陈红跃,王正,等.珠三角风水林植物群落研究及其在生态公益林建设中的应用价值[J].亚热带资源与环境学报,2008,3(2):42-48.
 [10] YIP J K L,NGAR Y N,YIP J Y,et al.Venturing fung shui woods[M].Hong Kong:Power Digital Printing Co.Ltd.,2004.
 [11] 叶华谷,徐正春,吴敏.广州风水林[M].武汉:华中科技大学出版社,2013.
 [12] RAUNKIAER C.The life forms of plants and statistical plant geography[M].Oxford:Clarendon Press,1934:1-623.
 [13] RAUNKIAER C.The life-form of plant and statistical plant geography[M].Oxford:Clarendon Press,1934:1-623.
 [14] SHANNON C E,WEINER W.The mathematical theory of communication[M].Urbana:University of Illinois Press,1949:125.
 [15] PIELOU E C.An introduction to mathematical ecology[M].New York:Wiley Interscience,1969:125-127.
 [16] RAUNKIAER C.Recherches statistiques sur les formations vegetales[M].Det Kgl Danske Vidensk;Selsk Biol Medd,1918:3-80.
 [17] 曲仲湘,刘振旺,朱史贵.南京灵谷寺森林现状的分析[J].植物学报,1952,1(1):18-49.
 [18] WU Z Y.The areal-types of Chinese genera of seed plants[J].Acta Bot Yunnan,1991,4(S4):1-139.
 [19] 彭少麟,王伯荪.鼎湖山森林群落分析 I.物种多样性[J].生态科学,1983(1):11-17.
 [20] 王伯荪,余世孝,彭少麟,等.植物群落学实验手册[M].广州:广东高等教育出版社,1996:1-106.
 [21] ZHUANG X Y,GORLETT R T.Forest and forest succession in Hong Kong,China[J].J Trop Ecol,1997,13(6):857-866.
 [22] DIAMOND J M.The island dilemma;Lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves[J].Biological conservation,1975,7(2):129-146.
 [23] SIMBERLOFF D S,ABELE L G.Island biogeography theory and conservation practice[J].Science,1976,191(4224):285-286.
 [24] SIMBERLOFF D,ABELE L G.Refuge design and island biogeographic theory:Effects of fragmentation[J].The American naturalist,1982,120(1):41-50.
 [25] WILCOX B A,MURPHY D D.Conservation strategy:Effects of fragmentation on extinction[J].The American naturalist,1985,125(6):879-887.
 [26] 庄雪影.广东珠三角地区与香港风水林植物组成及其保护[J].广东林业科技,2012,28(1):72-76.
 [27] 陈红跃.珠江三角洲风水林群落与生态公益林造林树种[M].乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2007.

(上接第 88 页)

[35] 杨建.盐碱胁迫下 5 种鱼类的耐受性和免疫应激反应[D].上海:上海海洋大学,2014.
 [36] 赵尔宓.介绍一种蛙类胚胎及蝌蚪发育的分期[J].生物学通报,1990,25(1):13-15.
 [37] 娄忠玉,钱续.福尔马林对银鲑鱼苗半致死浓度试验[J].水利渔业,2003,23(1):58.
 [38] 雷衍之.淡水养殖水化学[M].南宁:广西科学技术出版社,1993:6-11,111-116.
 [39] 李红梅,田先娇.9 种因子对牛蛙蝌蚪的毒性研究[J].安徽农业科学,2010,38(2):769-771.
 [40] 胡俊恒,班红琴.盐度对鱼类的影响及鱼类的渗透压调节机制[J].河北渔业,2010(8):41-43,50.
 [41] 张耀光.日本林蛙的器官发育——呼吸、循环、泌尿系统和感觉器官的发育[J].四川师范学院学报(自然科学版),1990,11(4):304-309.