

中美洲原产地鳗鲡苗种对几种生态因子的耐受性研究

周立红, 关瑞章, 陈学豪

(集美大学水产学院, 鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心,
福建省高校水产科学技术与食品安全重点实验室, 福建 厦门 361021)

摘要:研究了中美洲原产地鳗鲡(*Anguilla rostrata*)苗种对于温度、pH值、溶解氧、亚硝酸盐、氨氮、光强等生态因子的适宜范围及耐受极限。结果显示,中美洲鳗鲡白仔苗的适宜水温为20~28℃,临界上限水温38℃、下限水温0℃;其正常活动的溶氧临界值为1.00 mg/L,半数窒息点为0.70 mg/L;适宜pH为4~10,耐受上限为pH 11、下限为pH 3;非离子态氨对鳗鲡白仔苗24、48、72、96 h的半致死浓度分别为4.54、4.08、4.08、2.62 mg/L,安全浓度为0.262 mg/L;亚硝酸盐对鳗鲡白仔苗24、48、72、96 h的半致死浓度分别为92.05、65.81、45.54、37.06 mg/L,安全浓度为3.71 mg/L;引起鳗鲡白仔苗不安的光强阈值为5.88 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。

关键词:中美洲鳗鲡;耐受性;生态因子

中图分类号:Q142 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)01-0058-07

产自厄瓜多尔、多米尼加、尼加拉瓜等中美洲地区的鳗鲡(*Anguilla rostrata*),其形态与产自美国及加拿大的美洲鳗鲡没有明显差别,但中美洲鳗鲡苗大量产出时间和白仔苗规格与我国传统养殖的美洲鳗鲡有明显的区别。美洲鳗鲡苗种一般在每年的3月大量出现,规格为4 500~5 500尾/kg(洪万树, 1998);而中美洲鳗鲡苗在9月就出现了,出池白仔苗规格为8 000~9 000尾/kg。由于近几年我国已成功引进美洲鳗鲡进行养殖,规模日渐增大,目前已开始出现苗种供应不足的问题。如果能引进中美洲原产地的鳗鲡苗种,利用其与传统美洲鳗鲡在养殖周期上的时间差,可更利于鳗鲡养殖业的发展。由于中美洲鳗鲡尚未在国内正式开始养殖,有必要对影响其生长、存活、摄食的主要生态因子进行研究,为引进这一新的养殖种类提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 鳗鲡苗种来源

本研究所用的中美洲鳗鲡苗种出自厄瓜多尔(2008年12月引进,航运至香港,经由深圳车运抵厦门),经室内暂养1周、能正常摄食丝蚯蚓后才进行各项试验。所有试验的每个处理组及对照组均设

置3个平行组。非离子态氨及亚硝氮的毒性试验浓度采用等对数间距法设置。试验鳗苗全长(7.54 ± 0.78) cm,体重(0.58 ± 0.17) g;试验用水采用曝气48 h的自来水,pH值6.82~7.05;所用药物均为分析纯。

1.2 白仔鳗对温度的耐受力试验

在3 L的三角瓶中加入2 L经过曝气的自来水,放入10尾白仔鳗,试验在控温培养箱(GXZ智能型光照培养箱,无光照)中进行。以原培养水温(20℃)为基础,调节培养箱温度进行升温或降温处理,幅度每次 $\pm 1^\circ\text{C}$,达到目标温度后观察4 h,再进一步调节下一个试验温度值,如果出现死亡或休克个体,则适当延长观察时间。高温耐受试验从20℃依次升至40℃,低温耐受试验从20℃依次降至0℃,并在0℃保持42 h后,自然升温至13℃观察休克鱼苗的存活情况;继续降温至0℃,直至大部分鳗苗死亡为止。以20℃条件下的鳗苗为对照。试验中不充气、不投饵,每日更换与当时培养箱中同温度的曝气自来水,定时观察鳗苗的行为及存活情况。观察时先以手电照射给予光刺激,然后搅动水体,记录在不同刺激情况下鳗苗的活动情况、活动比例和死亡率。

1.3 温度对白仔鳗摄食活动的影响

在3 L的三角瓶中放入2 L经过曝气的自来水,放入10尾试验鳗苗,以原培养水温(20℃)为基础进行升温或降温处理,日均温度变化幅度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。试验在控温培养箱中进行,每日8:00投饵1次,将水蚯蚓分成等份,根据摄食情况投加不同份

收稿日期:2010-08-03 收修改稿日期:2011-12-26

基金项目:国家公益性行业(农业)科技项目(鳗鱼3-51)资助。

通讯作者:陈学豪,1963年生,男,副教授。E-mail: xhchen@jmu.edu.cn

作者简介:周立红,1964年生,女,教授,博士,主要从事水环境保护教研究工作。E-mail: lhzhou@jmu.edu.cn

量的水丝蚓,以1h为摄食时间,然后更换与当时培养箱中同温度的曝气自来水,调节温度至更高/低。以在20℃培养箱中鳗苗为对照组。试验中不充气,每日记录白仔鳗苗摄食行为及相对摄食量。

1.4 溶氧含量对白仔鳗存活的影响

在玻璃缸中放入2L经煮沸冷却至室温(18~19℃)的曝气自来水,将20尾泥鳅装在网袋中放入缸内,再放入10尾健康活泼、大小一致的白仔鳗苗,插入一根玻璃管至缸底,上接一根乳胶管以虹吸法进行水中溶解氧的取样测定,以液体石蜡封闭水面,隔绝水-气之间的氧气交换。连续观察,至鳗苗有明显行为异常或死亡时吸取水样测定溶解氧,溶氧测定采用Winkler法。

1.5 pH值对白仔鳗存活的影响

试验在1L三角瓶中进行,将曝气自来水以2mol/L NaOH及HCl溶液调整水体的pH值,以雷磁PHS-2F型pH计测定溶液pH值。根据预试验结果设置pH值为2~12,间隔为1个单位;水温20℃,每个容器放入10条试验白仔鳗苗后用纱布扎住瓶口以防鳗苗逃脱。各组每日配制相同pH值的试验水体进行换水1次,定时观察记录鳗苗活动及死亡情况,并及时去除死亡个体。

1.6 非离子态氨对白仔鳗的毒性试验

以曝气自来水中添加一定量的 NH_4Cl 来配置不同浓度的试验溶液(邹玲媛等,2002),以pH计测定溶液pH值,并以2mol/L的HCl或NaOH调节试验溶液pH值为8,非离子态氨浓度设置为53.65、35.75、23.85、15.90、10.64、7.09、4.72、3.15、2.10、1.40、0.93 mg/L,以未加 NH_4Cl 的曝气自来水为对照组。试验在25℃的培养箱中进行,每个三角瓶中加入1L试验溶液,放入10条鳗苗后瓶口扎纱布以防逃脱。试验中不充气、不投饵,每日更换重新配制的试验溶液。观察记录鳗苗的行为、死亡数,并及时清除死亡个体。采用直线回归法求出24、48、72、96h的 LC_{50} ;安全浓度=96h $\text{LC}_{50} \times 0.1$ 。

1.7 亚硝酸氮对白仔鳗的毒性试验

以曝气自来水中添加一定量的 Na_2NO_2 来配置不同浓度的试验溶液(750.00、500.00、333.00、222.00、148.00、98.78、65.84、43.90 mg/L),试验在25℃的培养箱中进行,每个三角瓶中加入1L试验溶液,放入10条鳗苗后瓶口扎纱布以防逃脱。试验中不充气、不投饵,每日更换重新配制的试验溶液。观察记录鳗苗的行为、死亡数,并及时清除死亡个体。

1.8 光强对白仔鳗行为的影响

将每个烧杯中加入1L曝气自来水并放入10条鳗苗,通过调节光源灯管位置及光源管数量调节光强。以TES-1330A数位式照度计测定光强。观测鳗苗在不同光强下的行为反应。

2 结果

2.1 温度变化对中美洲鳗鲡白仔苗的影响

2.1.1 高温耐受力 中美洲鳗鲡白仔苗在水温为20~25℃范围内通常安静地卧于瓶底,间或平静游动,一旦外界有声音、光影等刺激,所有鱼苗均反应灵敏、迅速游动。随着水温上升,鳗苗在无外界刺激的情况下游动开始增加,水温28~33℃,鳗苗基本上不停地在水中游动;此后,随着温度进一步升高,鳗苗活动力开始下降,从35℃开始,有少部分鳗苗沉在水底很少活动,大部分则在水中剧烈游动;至38℃时,所有鳗苗均在水面处急速窜游,并开始出现死亡个体,保持该温度18h后,有36.67%的个体死亡,其余个体仍在水中不停窜游;22h后则有40%个体死亡,其余个体活动力下降;升温至40℃时,鳗苗基本停止游动,仅在水底轻微扭动身体,16h后大部分死亡(93.33%)。各温度下鳗苗的活动情况及死亡率见表1。

2.1.2 低温耐受力 低温对中美洲鳗鲡白仔苗的影响一般表现在降低活动频率、身体僵硬、冷休克(假死)等。从原水温20℃逐渐下降到11℃的过程中,鳗苗的行为保持正常,无外界刺激时一般静卧水底,间或平静游动;有外界刺激时则反应敏捷,快速游动。从9℃开始,鳗苗活动明显减弱,一般僵卧水底不再活动,在受到光、声或晃动等刺激时仍能迅速在水层中游动,但活动时间随着温度的降低而缩短,3℃时仅维持约5s的活动时间,很快恢复下沉僵卧状态;1~2℃时,仅53.33%的个体受刺激后能在水底短暂扭动身体,其余个体则仍然保持僵卧状态。鳗苗在0℃的时间越长,其活动力越低,对外界刺激的反应越不灵敏。0℃时,18h后有43.33%的个体受光刺激后能短暂游动,73.33%的个体在水体被搅动时能进行短暂游动,42h后仍有20%个体在受到刺激时能进行游动,其余则始终维持僵硬状态。此时,当关闭控温装置,温度自然升至13℃时,所有个体均恢复正常活动状态。重新将温度降至0℃后可见鳗苗迅速恢复僵硬状态,至68h身体开始发白,此时再经自然升温至15℃,但大部分鳗苗已经死亡,不同温度下的鳗苗活动情况详见表2。

表1 中美洲鳗鲡白仔苗对高温的耐受力

Tab.1 Tolerance of *Anguilla rostrata* from central America to high water temperature

温度/℃	活动比例%	累计死亡率/%	鳗苗活动情况
20~25	100	0	无外界刺激时鳗苗安静卧于水底或平静游动,对外界刺激反应敏捷
26~27	100	0	无外界刺激时大部分鳗苗安静卧于水底,有少数个体游动较多,有刺激时均活动迅速
28~33	100	0	无外界刺激时鳗苗大多在不停游动
34	100	0	游动少于33℃但多于20℃
35	50.00	0	部分鳗苗正常游动,其余较少活动
36	56.67	0	游动频率较35℃有所增加
37	76.67	0	大部分鳗苗到水面游动,其余在水底不动
38	100	0	均在水面剧烈游动
38	63.33	36.67	18h后部分死亡,其余不停窜游
38	60.00	40.00	22h部分死亡,其余活动减慢
39	60.00	40.00	2h部分死亡,其余活动减慢
40	3.33	93.33	鳗苗基本不活动,16h后大量死亡

表2 中美洲鳗鲡白仔苗对低温的耐受力

Tab.2 Tolerance of *Anguilla rostrata* from Central America to lower water temperature

温度/℃	活动比例/%	鳗苗活动情况
20~11	100	一般静卧水底,间或平静游动,受外界刺激后反应敏捷、游动时间长。
10	100	静卧水底时身体略显僵硬,受外界刺激时能活动正常
9	100	无外界刺激时活动减弱
8	100	无外界刺激时活动较少
7~5	100	无外界刺激时僵卧瓶底,受光、晃动等刺激活动迅速,活动维持时间较长
4	53.33	无外界刺激时静卧瓶底,受光、晃动等刺激能游动约15s后重新静卧
3	100.00	无外界刺激时静卧瓶底,受光、晃动等刺激能游动约5s即静卧
2	53.33	无外界刺激时静卧瓶底,受光、晃动等刺激仅能在瓶底扭动
1	53.33	无外界刺激时静卧瓶底,受光、晃动等刺激仅能在瓶底扭动
0	43.33	18h后光刺激,部分可正常游动,其余僵卧
0	73.33	18h后搅动水体后,部分正常游动,其余僵卧
0	33.33	20h搅动水体后部分缓慢游动,其余僵卧
0	10.00	22h光刺激后少数正常游动,其余仍僵卧
0	36.67	22h搅动水体后少数个体短暂游动约5s,且腹部朝上
0	36.67	24h后光刺激,部分能游动,其余僵卧
0	20.00	42h后光及搅动刺激后少数能正常活动,其余僵卧
自然升温至13℃(3h)	100	鳗苗全部恢复正常游动
	23.33	6h后部分鳗苗受刺激后缓慢活动,其余僵卧
重新降	20	28h后部分鳗苗受刺激后缓慢活动,其余僵卧
温至0℃	0	44h全部僵卧
	0	68h全部僵卧,身体发白
自然升温至15℃(7h)	6.67	93.33%个体死亡

2.1.3 温度变化对摄食的影响 中美洲鳗鲡白仔苗摄食的积极性及食量受温度影响较大,在20~28℃,鳗苗积极摄食,食量正常;随着温度的升高(28~34℃),出现抢食行为,食量也有所增加;但温度进一步增加(34~36℃),摄食的积极性反而下降,无抢食行为,同时食量也明显减少;当温度超过37℃,则停止摄食;另外,低温也会导致鳗苗摄食消极、食量减少。温度在17~20℃时,鳗苗摄食行为正常,但是食量略低于在20~28℃时;随着温度进一步降低,鳗苗摄食活动越来越少,食量也相应减少;低于10℃时则停止摄食(表3)。

表3 温度变化对中美洲鳗鲡白仔苗摄食行为的影响

Tab.3 Effect of water temperature to the feeding action of *Anguilla rostrata* from Central America

温度/℃	摄食行为	摄食量
≥37	不摄食	0
35~36	可以摄食但较消极	+
28~34	积极抢食	++++
21~27	摄食基本正常,有一定的抢食行为	+++
19~20	正常摄食	+++
17~18	正常摄食	++
11~16	摄食消极	+
≤10	不摄食	0

注:“+”的数量越多表示摄食量越大,“0”表示未摄食。
Notes: The more the symbol “+”, the larger the quantity of diet ate by these eels; “0” means the eels didn’t eat any diet.

2.2 低溶氧对中美洲鳗鲡白仔苗的影响

当水中溶氧含量下降到 1.68 mg/L,鳗苗首先出现静卧水底、呼吸急促的现象,同时对光、声等刺激反应敏感;1.47 mg/L 时,鳗苗大多躺卧,但在光、声等刺激下仍然能迅速游动;1.00 mg/L 时,开始出现浮头现象;随着溶氧进一步降低,浮头现象增加,鳗苗呼吸急促并试图向水面窜跳;溶氧低至 0.87 mg/L时,鳗苗开始出现抽搐、挣扎现象;0.81 mg/L时,大约 10% 鳗苗死亡;至 0.70 mg/L 时,50% 的鳗苗死亡(表 4)。

表 4 低溶氧对中美洲鳗鲡白仔苗的影响

Tab.4 Effect of lower concentration of dissolved oxygen to *Anguilla rostrata* from Central America

溶解氧/ mg · L ⁻¹	鳗苗状态
1.68	鳗苗安静,呼吸急促,对光、声音等刺激反应灵敏
1.47	平时大多躺卧,对光、声音等刺激反应灵敏
1.25	鳗苗少动,对光、声音等刺激反应灵敏
1.00	出现浮头现象
0.91	浮头现象增加、鳗苗试图向水面窜跳、呼吸急促
0.87	出现身体抽搐现象
0.81	抽搐、挣扎、死亡率 10%
0.77	抽搐、挣扎,死亡率增加
0.70	死亡率 50%

2.3 pH 值对鳗鲡白仔苗行为及存活的影响

pH 值在 4 ~ 10,鳗苗活动正常或游动稍多;降低或升高 pH 值都会使鳗苗游动增加,高 pH 值水体中,鳗苗游动加快,甚至身体剧烈扭动(pH 12)。长时间(3d)在 pH 11 的水体中,鳗苗死亡率可增加至约 50%;而在 pH 12 的水体中,鳗苗体表很快产生大量白色粘液,并在 1 h 内全部死亡。在低 pH 水中,鳗苗出现不断爬壁、落水后狂游的现象。在 pH 3 的水中,仅 1 h 就有 10% 的鳗苗死亡,4 h 死亡率为 50%,8 h 为 100%。在 pH 2 的水中,仅 2 h 就有 50% 的鳗苗死亡,3 h 死亡率达到 100%(表 5)。

2.4 非离子态氨及亚硝氮对鳗鲡白仔苗的毒性

2.4.1 非离子态氨 随着非离子态氨浓度的增加,

鳗苗先在水中窜游,继而侧卧水底身体抽动,最终死亡。在 1 h 10 min 时,53.65 mg/L 组即有 63.3% 个体死亡,未死的鳗苗仅能在水底身体微弱抽动;35.75 mg/L 组虽尚未有死亡个体,但是有 66.67% 的个体只能侧卧水底,并伴有身体抽动现象,无法游动;而 23.85 mg/L 组所有个体都在水中不停窜游。至 3 h 50 min,53.65 mg/L 和 35.75 mg/L 组均全部死亡,23.85 mg/L 组死亡率达 66.67%;而 15.90 mg/L 组则有 30% 个体侧卧、并伴有身体抽动。试验浓度 ≤ 10.64 mg/L,在 3 h 内鳗苗均行为正常,同对照组;至 5 h 时,浓度 4.72 ~ 15.90 mg/L 均开始出现死亡,并且死亡率随浓度增加而增加;24 h 时,高浓度组(10.64 ~ 53.65 mg/L)鳗苗全部死亡。0.93 mg/L 浓度组在试验期间未出现死亡。浓度对数与死亡概率间的回归方程及 LC₅₀ 等见表 6。

表 5 pH 值对中美洲鳗鲡白仔苗行为及存活的影响

Tab.5 Effect of pH value to the behaviour and survival of *Anguilla rostrata* from Central America

pH	时间/h	鳗苗状态
2	0	20% 鳗苗行动迟缓,其余快速游动甚至狂游,头顶容器壁
	1	30% 死亡
	2	50% 死亡
	3	100% 死亡
3	0	不断爬壁,落水后狂游
	1	10% 死亡,其余基本不动
	2	30% 死亡
	4	50% 死亡
4	8	100% 死亡
	0	游动较多
5 ~ 10	72	死亡率 10%
	0 ~ 72	活动正常
11	0	游动加快
	24	死亡率 10%
	48	死亡率 33.3%
	72	死亡率 46%
12	0	剧烈扭动,濒临死亡,体表产生大量白色粘液
	1	100% 死亡

表 6 非离子态氨浓度对数与中美洲鳗鲡白仔苗死亡概率的关系

Tab.6 Relationship between concentration logarithm of ammonia and mortality probability of *Anguilla rostrata* from Central America

时间/h	回归方程	r	LC ₅₀ /mg · L ⁻¹	95% 可信限/mg · L ⁻¹	安全浓度/mg · L ⁻¹
24	y = 5.5623x + 1.3455	0.9132	4.54	4.09 ~ 5.04	0.454
48	y = 4.7826x + 2.0775	0.9391	4.08	3.66 ~ 4.55	0.408
72	y = 4.7826x + 2.0775	0.9391	4.08	3.66 ~ 4.55	0.408
96	y = 7.6564x + 1.7969	0.9179	2.62	2.40 ~ 2.86	0.262

2.4.2 亚硝氮 在亚硝氮浓度高的水体中 (≥ 333.00 mg/L), 鳗苗先在水中窜游, 一段时间后活动力下降并出现死亡; 其中, 750.00、500.00、300.00 mg/L浓度组, 鳗苗在 7 h 40 min 内全部死亡, 但在 5 h 内, 所有试验组及对照组鳗苗均存活。

表 7 亚硝氮浓度对数与中美洲鳗鲡白仔苗死亡概率的关系

Tab. 7 Relationship between concentration logarithm of nitrite and mortality probability of *Anguilla rostrata* from Central America

时间/h	回归方程	<i>r</i>	LC ₅₀ /mg · L ⁻¹	95% 可信限/mg · L ⁻¹	安全浓度/mg · L ⁻¹
24	$y = 4.9770x - 4.7750$	0.9578	92.05	84.26 ~ 100.57	9.21
48	$y = 5.3296x - 4.6906$	0.9850	65.81	60.59 ~ 71.47	6.58
72	$y = 4.8376x - 3.0228$	0.9628	45.54	41.28 ~ 50.25	4.55
96	$y = 5.6183x - 3.8146$	0.9419	37.06	33.78 ~ 40.66	3.71

2.5 光强对中美洲鳗鲡白仔苗活动的影响

在光强很低的情况下 (0.0004 ~ 0.0006 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$), 鳗苗一般保持安静, 在水体静卧。当光强增加到 3.44 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, 鳗苗开始在水中游动。随着光强的增加, 鳗苗游动越来越频繁且快速, 静卧时间则越来越少, 当光强达到 96 $\mu\text{E}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 以上, 鳗苗明显不安, 均在水面游动, 而且有不断跃出水面的窜跳行为 (表 8)。

表 8 不同光强对中美洲鳗鲡白仔苗的行为影响

Tab. 8 Behaviour of *Anguilla rostrata* from Central America in various light intensity

光强/ $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	鳗苗活动情况
0.0004 ~ 0.0006	安静 (静卧)
3.44	开始游动
5.88	游动频繁
60.00	不停游动
96.00 ~ 108.80	在水面游动, 不安, 向水面窜游

3 讨论

3.1 温度

温度是影响生物生存和分布最重要的生态因子之一, 对于拟引进的中美洲鳗鲡新种来说, 了解其对温度的耐受范围及最适范围显得十分重要。在温度高于 33℃ 或低于 11℃ 时, 中美洲鳗鲡白仔苗即出现较为明显的行为异常, 至 38℃ 即导致不可逆的死亡。有报道称, 莫桑比克鳗鲡 (*A. mossambica*) 35℃ 时还能正常游动 (何英等, 2009); 欧洲鳗鲡 (*A. anguilla*) 适宜温度为 18 ~ 25℃, 美洲鳗鲡适宜温度为 15 ~ 28℃ (林明辉等, 2006); 日本鳗鲡 (*A. japonica*) 在水温 4 ~ 38℃ 均可生存 (郑建平, 1995); 樊海平等 (1998) 研究认为, 美洲鳗鲡黑仔鳗的适宜水温为 15.0 ~ 31.0℃。由此可见, 不同种类的鳗鲡对温度的适应范围略有差异, 这可能与其出产地环境条件

随着暴露时间的延长及暴露浓度的增高, 鳗苗死亡率不断增加。试验期间, 43.90 mg/L 浓度未造成鳗苗死亡, 65.84 mg/L 浓度组仅有少量个体死亡。浓度对数与死亡概率间的回归方程及半致死浓度 (LC₅₀) 见表 7。

有关。中美洲鳗鲡产地在厄瓜多尔、多米尼加、尼加拉瓜等中美洲地区, 纬度较低, 美洲鳗鲡一般产自美国、加拿大沿岸, 纬度较高, 水温也存在明显差别。由鳗苗行为可以看出, 较高温度下鳗苗会出现不安, 不停地游动, 这必将导致鱼苗消耗大量的能量及氧气, 对于其生长及水质管理是不利的。如果长期处于高温环境 (38℃ 以上), 中美洲鳗鲡将出现大量死亡, 38℃ 可以看作其温度耐受的上限。因此, 在养殖生产中应该注意不要使其长时间处于过高水温中; 这一点在南方的夏季需要特别注意, 一旦水温超过 33℃, 可采取适当措施进行降温。

低温对中美洲鳗鲡的影响一般是可逆的, 即使在 0℃ 条件下 42 h, 鳗鲡几乎均呈僵硬状态, 对外界刺激已无反应, 但只要将温度恢复到适温范围, 所有鳗苗均能恢复正常活动。本次研究显示, 如果在 0℃ 条件下超过 42 h 达到 68 h, 则造成不可逆的死亡情况发生, 0℃ 是中美洲鳗鲡温度耐受下限; 由此可见, 低温对其的影响要小于高温。在我国南方地区, 冬季的低温一般不会低于中美洲鳗鲡的耐受值, 而对北方地区来说, 漫长冬季的保温工作可能是养殖成败的条件之一。

本次研究显示, 温度对中美洲鳗鲡摄食行为及食量影响较大。从摄食积极性及食量的角度看, 20 ~ 34℃ 是较为合适的; 但随着温度的增加, 其活动量增大、代谢率增高, 这将导致其所摄取的饵料转化率降低, 对于渔业生产不利; 因此, 20 ~ 28℃ 是中美洲鳗鲡较适宜的养殖温度。

3.2 溶氧及 pH

中美洲鳗鲡白仔苗对低溶氧的耐受能力较强, 水中溶氧量达 1 mg/L 是其正常活动的临界值; 溶氧低于 1 mg/L 则依次出现鳗苗浮头、身体抽搐、死亡等一系列现象, 导致 50% 鳗苗死亡的窒息点为

0.7 mg/L。在一般的池塘养殖水体中,凌晨时分以及池塘底部是较容易出现低溶氧的时间和区域,其溶氧值有可能接近中美洲鳗鲡的临界值和窒息点,最易发生缺氧,需特别关注。

中美洲鳗鲡对 pH 值的耐受范围较广。pH 4 ~ 10, 鳗苗均能正常活动,耐受的上下限分别是 pH 11 和 pH 3;这与樊海平等(1998)对美洲鳗鲡的研究结果类似;比欧洲鳗幼鳗的耐受范围 11.32 ~ 3.2 略窄(黄种持,2003);在我国大部分地区应都可以适应。需要注意的是,由于我国目前水体富营养化现象比较普遍,池塘中蓝藻水华时有爆发,这将造成水体 pH 值快速升高,并且每天的波动值也较大(王志红等,2004;Shapiro J, 1990)。据吴剑等(2009)报道,处于延迟期和对数生长期的铜绿微囊藻可使培养液的 pH 值从初始的 8.8 升到 10.94。由此可见,在中美洲鳗鲡养殖中,需要对水华藻爆发时期的水体 pH 值进行监控,以防超出其耐受范围。

3.3 非离子态氨、亚硝氮及光照

非离子态氨及亚硝氮对于鱼类均有较高毒性,是水产养殖管理中常规监测的项目。本次试验得出,中美洲鳗鲡 24、48、72、96 h 非离子氨 LC_{50} 分别为 4.54、4.08、4.08、2.62 mg/L,这比美洲鳗鲡的要低些(樊海平等,1997),而与欧洲鳗鲡相近(潘小玲等,1998)。一般说来,有害物质对鱼类的危害程度与其个体大小成负相关,对鳗苗体重的研究分析可知,中美洲鳗鲡最小(0.58 g),美洲鳗鲡次之(2 g),欧洲鳗鲡最大(7.2 g);由此可见,中美洲鳗鲡对于非离子态氨的耐受力还是较强的,其 24、48、72、96 h 亚硝氮 LC_{50} 分别为 92.05、65.81、45.54、37.06 mg/L,与欧洲鳗鲡(潘小玲等,1998)相近,但远低于莫桑比克鳗鲡(樊海平等,2008)。鳗鲡习惯弱光的生活环境,中美洲鳗鲡白仔苗适宜低于 $3.44 \mu E/m^2 \cdot s$ 的光强,进一步增加光强会导致鳗

苗不安、连续游动、消耗体能,不利于养殖生产。

综上所述,中美洲原地产的鳗鲡对温度、pH 值等主要生态因子的适应范围与美洲鳗鲡、欧洲鳗鲡相近,我国大部分地区的环境条件均符合其养殖需求。由于中美洲鳗鲡苗种大量出现的时间与美洲鳗鲡有一定区别,合理配置二者的养殖,可以弥补苗种的不足,解决商品鳗上市时间过于集中的问题,提高养殖效益。

参考文献

- 樊海平,潘小玲,陈百悦,等. 1997. 非离子态氨对美洲鳗鲡 (*Anguilla rostrata*) 的急性毒性试验[J]. 福建水产, (1): 19 - 21.
- 樊海平,曾占壮. 1998. 美洲鳗鲡对水温、盐度和 pH 值的耐受性试验[J]. 浙江农业学报, 10(2): 94 - 96.
- 何英,袁重桂,阮成旭,等. 2009. 莫桑比克鳗鲡对温度、盐度和 pH 的耐受性试验[J]. 水产科学, 28(4): 222 - 224.
- 洪万树. 1998. 美洲鳗鲡生物学[J]. 海洋科学, (2): 34 - 35.
- 黄种持. 2003. 欧洲鳗鲡对不同生态因子的耐受反应及相关血液生化指标变化的研究[J]. 淡水渔业, 33(4): 6 - 9.
- 林明辉,廖国礼. 2006. 欧洲鳗鲡和美洲鳗鲡生物学特性及养殖技术的比较[J]. 中国水产, (1): 24 - 26.
- 王志红,崔福义,安全,等. 2004. pH 与水库水富营养化进程相关性研究[J]. 给水排水, 20(5): 37 - 41.
- 吴剑,孔倩,杨柳燕,等. 2009. 铜绿微囊藻生长对培养液 pH 值和氮转化的影响[J]. 湖泊科学, 21(1): 123 - 127.
- 邹玲媛,承完成. 2002. 非离子氨(UA)水质评价指标及换算方法[J]. 水产科学, 21(2): 42 - 43.
- 郑建平. 1995. 日本鳗鲡的生物学特征及人工饲养技术[J]. 江西农业科技, (4): 39 - 40.
- Shapiro J. 1990. Current beliefs regarding dominance by blue-green: The case for the importance of CO_2 and pH [J]. International Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie, 24(1): 38 - 54.

(责任编辑 万月华)

Tolerance of *Anguilla rostrata* from Central America to Several Ecological Factors

ZHOU Li-hong, GUAN Rui-zhang, CHEN Xue-hao

(Fisheries College, Jimei University, Engineering Research Centre of Eel Modern Technical Industry,
Ministry of Education, Key Laboratory of Science and Technology for
Aquaculture and Food Safety, Xiamen 361021, China)

Abstract: This experiment was designed to investigate the tolerance of *Anguilla rostrata* from Central America to several ecological factors such as water temperature, pH, dissolved oxygen, light intensity and acute toxicity of ammonia and nitrite. The results showed that appropriate water temperature for *A. rostrata* was from 20 to 28°C, with upper critical temperature 38°C and lower critical temperature 0°C. The critical value of dissolved oxygen concentration for normal activity of *A. rostrata* was 1.00 mg/L, and the half suffocation value was 0.70 mg/L. Appropriate pH value varied from 4 to 10, with upper critical limit 11 and lower critical limit 3. 24 h, 48 h, 72 h and 96 h LC_{50} of nonionic ammonia to *A. rostrata* were 4.54 mg/L, 4.08 mg/L, 4.08 mg/L and 2.62 mg/L respectively, with its safe concentration 0.262 mg/L. 24 h, 48 h, 72 h and 96 h LC_{50} of nitrite to *A. rostrata* were 92.05 mg/L, 65.81 mg/L, 45.54 mg/L and 37.06 mg/L respectively with its safe concentration 3.71 mg/L. In addition, the threshold value of light intensity causing inquietude of *A. rostrata* was 5.88 $\mu E/m^2 \cdot s$.

Key words: *Anguilla rostrata*; tolerance; ecological factor