

脆化草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) 的病理生理生态学

谭乾开¹, 黎华寿^{2,*}

(1. 广东省恩平市农业技术推广服务中心, 广东恩平市 529400; 2. 华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广州 510642)

摘要: 分别就形态、生态和病理学性状对处于脆化终级阶段 ($LD_{50} \geq 6.67 \text{ kg/kgbw}$) 的草鱼与普通草鱼进行比较分析。高度脆化的草鱼在生态学上出现明显变化, 体长和体重的指数方程 $W = aL^b$ 显著不同于普通草鱼, DO 阈值由平均值 0.54 mg/L 上升到平均值 1.68 mg/L, CO_2 麻醉浓度 (呼吸抑制值) 由 194 mg/L 高浓度下降到 52.42 ~ 65.36 mg/L, Root 效应及 Broh 效应显著改变。解剖分析表明, 草鱼脆化过程是渐进性组织病变的生理过程, 包括各系统器官的功能性病变, 最终使过度脆化的草鱼由于血液循环障碍直接导致死亡。草鱼脆化死亡具有明显的饲料 (蚕豆) 累积剂量——效应反应的毒理学规律, 脆化草鱼的体长与体重的指数方程 $W = 18.1719 L^{2.4360}$ 可作为华南地区商品脆肉鲩标准的参考。研究结果将为脆化草鱼规模化集约养殖和提高脆化草鱼长途运输成活率提供参考。

关键词: 脆化草鱼; 蚕豆病理生理; 生态学变异

文章编号: 1000-0933(2006)08-2749-08 **中图分类号:** S965.112 **文献标识码:** A

Preliminary study on the ecology, physiology and pathology of crisped grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V)

TAN Qian-Kai¹, LI Hua-Shou^{2,*} (1. Agro-technical Extension and Service Center of Enping City, Enping, Guangdong 529400, China; 2. Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2749 ~ 2756.

Abstract: The pathological conditions of the last transitional phase ($LD_{50} \geq 6.67 \text{ kg/kg bw}$) to the crisped grass carp and the common grass carp were compared. The length-weight relationships are significantly different between the two fish groups. The average dissolved oxygen concentration threshold increased from 0.54 to 1.68 mg/L, and the threshold concentration of CO_2 for (decompensation) decreased from 194 to 52.42 ~ 65.36 mg/L when common carp changed to the last transitional phase. Both Broh and Root effects also changed significantly. Histological examination shows that the change from the common Grass Carp to crisped Grass Carp is a gradual process with changes in ultrastructural organization and cytochemical development of all the systems. The major reason that leads excess crisped Grass Carp to death is the blockage of blood circulation system. The toxicological effect of feeding *Vicia faba* L. to the fish was investigated. Results of the present study are valuable for improving the intensive production and long-distance transportation survivorship of the crisped Grass Carp.

Key words: crisped Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V); *Vicia faba* L.; ecology; pathology; physiology

普通草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) 经特殊环境和饲料养殖后, 可成为风味独特的脆肉鲩, 目前脆

基金项目: 广东省科技专项资助项目 (G4100-G99012); 华南农业大学校长基金资助项目

收稿日期: 2005-03-05; **修订日期:** 2006-03-27

作者简介: 谭乾开 (1969 ~), 男, 广东恩平市人, 硕士生, 水产工程师, 主要从事水产养殖技术推广和水产生态研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lihuashou@scau.edu.cn

致谢: 感谢美国佛罗里达理工大学海洋工程和海洋科学研究院主任、养殖专业主任林俊达教授对本文写作的帮助

Foundation item: The project was supported by the Key Project of Sci-technology of Guangdong Province (No. G4100-G99012) and South China Agricultural University

Received date: 2005-03-01; **Accepted date:** 2006-03-27

Biography: TAN Qian-Kai, Master candidate, mainly engaged in ecological agriculture and fish ecology.

肉鲢这一名特优水产品养殖业得到了较快发展^[1,2]。但市场疲软、脆肉鲢积压,往往导致脆肉鲢质量降低甚至养殖过度脆化而大量死亡,饲料等养殖成本也大增,成为制约发展脆肉鲢的障碍瓶颈;此外,也有部分养殖场偷工减料,将“半脆鲢”鱼目混珠扰乱市场,影响消费者信心和出口创汇。如何在尽量降低生产成本的同时适应市场对脆肉鲢数量和质量的需求,是脆肉鲢行业面临的关键任务。在脆肉鲢养殖生产过程中常出现脆肉鲢“半脆”、“过脆”和“肿身病”(广东恩平市俗称)死亡,曾一度难倒众多养殖户,其实这是脆肉鲢的一种生态生理学反应,有关这种草鱼脆化过程的生态生理学过程的本质,至今仍少有文献系统报道,对脆肉鲢养殖过度脆化而死亡的实验数据仍少见。为此,对草鱼脆化过程进行了反复的试验和观察,对影响草鱼脆化的饲料和水环境因子作了试验研究^[8,9],本文将进一步结合生产实践,在明确脆肉鲢的本质特性基础上,分析脆肉鲢与普通草鱼在生理、生态学上的差异,探讨在草鱼脆化过程这一非正常生理状态下,如何保证脆肉鲢的成活率和质量(脆化度),以更好地为脆肉鲢名特优水产品养殖业发展服务。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在广东恩平市迳塘养殖场进行,分别随机抽取过脆鲢鱼和普通草鱼各 17 尾作为试验材料,其中过脆鲢鱼取自 12 号池塘($LD_{50} \geq 6.67\text{kg/kgbw}$),规格为体长 $0.52 \sim 0.76\text{m}$ /尾、体重为 $3.56 \sim 8.90\text{kg}$ /尾,普通草鱼则取自 4 号池塘,规格为体长 $0.33 \sim 0.58\text{m}$ /尾、体重 $0.46 \sim 2.93\text{kg}$ /尾。其中 12 号池塘面积 $4.7 \times 666.7\text{m}^2$,养殖方式为流水养殖,脆肉鲢养殖的放养时间为 2001 年 3 月 24 日,全塘记录脆肉鲢鱼投喂蚕豆量为 7.321kg/kgbw ,养殖时间为 126d,试验前几天已有脆肉鲢鱼个体出现了过度脆化而“肿身”死亡现象;4 号池塘面积为 $6.2 \times 666.7\text{m}^2$,平均水深 1.8m 是蓄水池塘,放养草鱼密度为 72 尾/ 666.7m^2 ,养殖方式为粗放型,无投喂人工配合饲料以及其它人工干预,具有标准的普通草鱼的生理、生态生物学特性。

样品检测和解剖时间为 2001 年 7 月 3 日~7 月 7 日共 5d,在广东省恩平市迳塘养殖场化验室内进行。试验设备包括简易测量 DO 及游离 CO_2 设备、解剖器械、Van-Gieson 氏法染色试剂及显微镜以及专业活鱼长途运输塑料袋和试验水泥池等。

1.3 实验方法及步骤

(1)窒息点 DO 阈值的测定^[3] 把 12 尾脆化草鱼及 12 尾普通草鱼各分成 3 组,每组 4 尾,分别装入脆化草鱼长途运输专用塑料袋,加入 30kg 经过暴气的新鲜井水,并测量初始 DO 及浓度,包扎好袋口,使脆化草鱼及对照草鱼处于同一气压、同一容积的相同环境条件下。密切观察草鱼及脆化草鱼窒息点出现时间,及时用虹吸法测定呼吸抑制值、 CO_2 浓度,以及测量机体窒息点的 DO 阈值、 CO_2 浓度,记录数据。

(2) CO_2 浓度呼吸抑制试验^[3] 随机取脆化草鱼及普通草鱼(CK)各 2 尾(两组重复,记为组 1、组 2),每组为 1 尾脆化草鱼及 1 尾对照草鱼,同时装入专用塑料袋,并立即加入没有暴气的井水,记录初始水中 DO 及 CO_2 ,然后迅速充入高压氧气,紧扎袋口,把水摇动多次使氧气充分溶解,记录试验时间。测量每组草鱼、脆化草鱼出现平衡失调呼吸加快时的水质 DO 及 CO_2 浓度,以及呼吸停止时的 DO 及 CO_2 浓度(表 2)。

(3)病理生理变化试验^[4,5] 随机从池塘抽取脆化草鱼和普通草鱼各 3 尾,分 3 组每组脆化草鱼及对照草鱼各 1 尾,放入 3 个试验水泥池中($2\text{m} \times 3\text{m} \times 0.6\text{m}$)加入新鲜水源至水深 30cm,用氧气泵充氧,保证水中高 DO。每隔 1h 搅动池水,迫使试验池的普通草鱼及脆化草鱼高速巡游,连续 2 次,每次持续巡游 5min,记录脆化草鱼微循环障碍、出现“肿身”和死亡情况,并立即测量、镜检和解剖观察比较脆化草鱼与对照普通草鱼的形态变化及病理生理变异^[7]。

(4)生物学形态性状测定 分别测量记录上述试验的 15 尾脆化草鱼及 12 尾草鱼的体长及体重等形态可量性状。分别计算脆化草鱼和普通草鱼的体长、体重关系的指数方程以及肥满度系数 K 值。计算公式为:

$$\lg a = \frac{\sum \lg W \cdot \sum (\lg L)^2 - \sum \lg L \cdot \sum (\lg L \cdot \lg W)}{N \cdot \sum (\lg L)^2 - (\sum \lg L)^2}$$

$$n = \frac{\sum \lg W - (N \lg a)}{\sum \lg L}, K_{\text{肥满度}} = 100\% W/L^3$$

表 1 脆化草鱼与普通草鱼的呼吸抑制及 DO 阈值比较(mean ± ES)

Table 1 The compare of breathe suppressing and DO threshold value between crisped grass carp and common grass carp

测量项目 Items	组别 Group	数量 Quantity	初始 DO 浓度	初始 CO ₂ 浓度	呼吸抑制 Breathe suppressing(mg/L)		窒息点 Suffocate limit(mg/L)		DO 平均值 DO average (mg/L)
			Initial DO	Initial CO ₂					
			density (mg/L)	density (mg/L)	DO	CO ₂	DO 阈值 threshold value	DO CO ₂	
脆化草鱼	1	4	5.85 ± 0.38	14.61 ± 2.16	2.95 ± 0.14	28.43 ± 2.14	1.64 ± 0.08	32.74 ± 2.51	1.68 ± 0.09
Crispe grass Carp	2	4	5.14 ± 0.24	13.82 ± 1.74	2.85 ± 0.17	24.82 ± 3.12	1.72 ± 0.07	30.75 ± 2.44	
	3	4	6.01 ± 0.47	16.22 ± 1.68	3.08 ± 0.21	31.31 ± 2.18	1.68 ± 0.12	33.26 ± 3.11	
草鱼	①	4	5.94 ± 0.41	15.41 ± 1.22	1.59 ± 0.11	35.45 ± 3.04	0.52 ± 0.10	57.43 ± 3.10	0.54 ± 0.10
Common grass Carp	②	4	5.78 ± 0.39	16.71 ± 1.31	1.62 ± 0.09	34.41 ± 2.14	0.47 ± 0.06	59.61 ± 2.84	
	③	4	6.07 ± 0.17	14.31 ± 1.49	1.60 ± 0.20	30.71 ± 3.21	0.51 ± 0.12	58.74 ± 3.76	

$O_{2\text{测}} = 16V_{\text{MG/L}}/N = N_1 V_1 / V_1 = 0.04000 / V; N = 0.05 V; CO_{2\text{测}} = NV \times 44.01 / V_{\text{样}}$; 测量地点: 泾塘养殖场化验室, 室温 32℃ Place for Measurment:

The laboratory of Jingtang (room temperature 32℃)

表 2 造成脆化草鱼与普通草鱼产生呼吸抑制的 CO₂ 浓度比较*

Table 2 The comparison of CO₂ decompensation in water between the crisped grass carp and common grass carp

组别 Group	测定时刻 Determine time	CO ₂ 浓度 CO ₂ (mg/L)	DO 浓度 DO(mg/L)	脆化草鱼机能 Embrittle mechanism function of behavior in crisped grass carp	普通草鱼机能 Embrittle mechanism function of behavior in common grass carp
第 1 组 First group	00:00	32.81	2.71	司平衡失调 Body unbalane	正常 Normal
	00:05	33.21	6.28	正常 Normal	正常 Normal
	04:31	52.42	5.41	司平衡失调呼吸频率 86 次/min Unbame and R is 86/min	正常 Normal
	07:16	62.87	5.11	呼吸频率 12 次/min, 接近死亡** R is 12/mm, dying	正常 Normal
	13:00	82.41	4.96	死亡 Death	正常 Normal
	18:12	107.10	4.54	死亡 Death	正常 Normal
	26:11	187.01	3.96	死亡 Death	司平衡失调、死亡 Body behared unbance and death
	00:00	32.76	3.54	司平衡失调 Body behaved unbance	正常 Normal
	00:05	34.02	6.46	正常 Normal	正常 Normal
	04:25	56.36	6.82	司平衡失调呼吸频率 94 次/min Unbance and R is 94/min	正常 Normal
第 2 组 Second group	07:16	64.53	5.06	呼吸频率 21 次/min, 接近死亡 R is 21/mm, dyiny	正常 Normal
	13:04	9.62	4.87	死亡 Death	正常 Normal
	18:00	141.02	4.51	死亡 Death	正常 Normal
	26:24	194.10	4.01	死亡 Death	司平衡失调、死亡 Body behaved unbance and death

* 初始时没有暴气, 井水 pH6.87, CO₂ 为 (32.81 ± 0.42)mg/L, DO 为 (2.71 ± 1.24)mg/L; 5min 后充入纯氧并摇均 There are no cruel air and well water at the beginning; The initial of water environmental factors are pH: 6.87; CO₂ (32.81 ± 0.42)mg/L, DO (2.71 ± 1.24)mg/L; The water was charged with pure oxygen and shook after 5min later; ** R 为呼吸速率 R is the respiration ratio; 水体 DO > 3.96mg/L, 室温 30℃ normal DO (> 3.96mg/L) (room temperatures 30℃)

2 结果

2.1 普通草鱼与试验脆化草鱼窒息点 DO 阈值以及 CO₂ 浓度呼吸抑制值

试验表明(表 1), 正常草鱼窒息点 DO 阈值为 0.54mg/L, 而脆化草鱼其 DO 阈值则上升到 1.68mg/L; 同时, 正常草鱼呼吸抑制值为 1.59 ~ 1.62mg/L, 而脆化草鱼其 CO₂ 浓度呼吸抑制值上升到 2.85 ~ 3.08mg/L, CO₂ 麻醉浓度(呼吸抑制值)由普通草鱼的 194mg/L 高浓度下降至试验脆化草鱼的 52.42 ~ 65.36mg/L。Broh 效应曲线明显改变。

2.2 高速巡游后普通草鱼与高度脆化草鱼的解剖生理学及形态变化

高速巡游的脆化草鱼及普通草鱼在组织器官和体型上明显改变, 普通草鱼左右轴/背腹轴为 0.7419 ~ 0.398, 巡游前后没有变化; 脆化草鱼左右轴/背腹轴从巡游前的 0.967 ~ 0.992 增大到 1.0124 ~ 1.0788。高速巡游后脆化草鱼真皮充血, 粘液层有游离血细胞, 示血管破裂, 解剖侧大肌示出血, 真皮下红肌尤为严重; 开启腹腔, 示肝、肾、胰等脏器严重充血、淤血; 前、中、后肠段无充血现象, 食物充塞度为 0 级。Vas-gleson 氏法染色显

示真皮结缔组织红色,外膜层及疏松层与草鱼一致,致密层结构迥然不同,胶原纤维丰富、增厚、细胞极少,明显区别于草鱼(表4)。脆化草鱼高速巡游的直接结果是血管破裂而导致机体死亡。

表3 高速巡游后脆化草鱼与普通草鱼形态对照

Table 3 The comparison of the fish bodies after the high-speed swimming between the crisped grass carp and common grass carp

项目 Items	试验池号 Experimental pool	体长 Body length (m)	体重 Body weight (kg)	高速巡游前			高速巡游后(24h)		
				Before the high-speed swimming			After 24h of the high-speed swimming		
				背腹轴 BBA (back belly axe)(cm)	左右轴 LRA (left rightaxe) (cm)	左右轴/ 背腹轴 BBA/LRA	背腹轴(cm) The back belly axle	左右轴 LRA(left rightaxe)(cm)	左右轴/ 背腹轴 LBBA/LRA
脆化草鱼	1 [#]	0.52	3.56	11.41	11.04	0.967	11.40	12.31	1.0788
	2 [#]	0.60	5.21	13.12	13.01	0.991	13.12	13.42	1.0228
	3 [#]	0.54	3.60	12.85	12.76	0.992	12.85	13.01	1.0124
对照草鱼	1 [#]	0.514	1.75	11.51	8.54	0.7419	11.51	8.54	0.7419
	2 [#]	0.406	1.07	8.69	8.0	0.9240	8.69	8.03	0.9240
CK	3 [#]	0.421	1.37	8.64	8.12	0.9398	8.64	8.12	0.9398

表4 高速巡游后草鱼及脆化草鱼解剖生理学特征比较

Table 4 Comparison of the anatomical physiology after high-speed swimming between crisped grass carp and common grass carp

对象 Fish	项目 Items	巡游前		巡游后 After 24h of the high-speed swimming
		Before the high-speed swimming		
脆化草鱼 Crisped grass carp	外观性状 Appearance character	粘液层丰富,鳞片有光泽,侧大肌摆动有力,鳍条灵活,无充血现象,横与纵轴长比小于1 The body mucilage is rich and dermal scale on light, the body muscle is strong, and all of the fins no filled blood and nimble 1BBA/LRA < 1		司平衡失调,沉于池底,濒死状态,粘液减少,手摸有磨擦感,鳞片无光泽,侧大肌僵硬(肌强直),各鳍条充血现象明显,横、纵轴长比大于1 The body is unbalance, sink down and death, the mucilage reduces and friction feeling, the dermal scale no light and the muscle is hardness, and all of the fins are fills blood, 1BBA/LRA > 1 1. 真皮充血,粘液层有游离血细胞,显示血管破裂 Bodily surface filled the blood, the blood vessel broken; 2. 解剖侧大肌示出血,真皮下红肌尤为严重 Dissection the subcutaneous connective tissue is fills blood and the red muscle especially is serious; 3. 开启腹腔,示肝、肾、胰等脏器严重充血、淤血 Open abdominal cavity, liver, kidney, pancreas etc; Internal organs serious hyperemia, extravasated blood; 4. 前、中、后肠段无充血现象,食物充塞度为0级 Front, center, and last intestines is normal, food stuffs is 0 grade leve; 5. Vas-gleson 氏法染色显示真皮结缔组织红色,外膜层及疏松层与草鱼一致,致密层结构迥然不同,胶原纤维丰富、增厚、细胞极少,明显区别于草鱼 Dyeing by Vas-gleson show the subcutaneous connective tissue is red; The cover epithelium and loose connective tissue level is same of the common grass carp; But the dense connective tissue is totally diferent, Collagenous fiber is rich and intercellular substance lest than the common grass carp 6. 侧大肌肉组织染料示组织及细胞浆黄色与草鱼一致,肌节线比草鱼明显 Dyeing show that the muscular tissue with the yellow cytoplasm is same of the common grass carp. Z line obvious clear than the common grass carp
	解剖切片、染色、镜检 Dissection slice, dyeing and mirror examination			
普通草鱼 Common grass carp	外观性状 Appearance character	粘液层丰富,鳞片有光泽,侧大肌摆动有力,鳍条灵活,无充血现象,横、纵轴长比小于1 The body mucilage is rich and dermal scale on light, the body muscle is strong, and all of the fins no filled blood and nimble 1BBA/LRA < 1		同巡游前相同 The same as that of before high-speed swimming
	解剖切片、染色、镜检 Dissection slice, dyeing and mirror examination	机体各大系统功能正常 The body system function is normal		机体各大系统功能正常 The body system function is normal

* 水体 DO 为 6.14mg/L、CO₂ 为 8.69mg/L,室温 32℃ 下进行观测 The water environmental factors are 6.14mg/L of DO and 8.69mg/L of CO₂; The air temperature is 32℃

高度脆化草鱼与普通草鱼在个体生态学形态指标上发生明显改变,经统计分析可分别得出两者的体长及体重关系指数方程式以及肥满度系数 K 值:

$$W_{\text{脆化草鱼}} = 18.1719L^{2.4360}, W_{\text{草鱼}} = 5.8803L^{1.8986}; K_{\text{脆化草鱼}} = 0.002395, K_{\text{草鱼}} = 0.001384$$

3 讨论

实验结果可知,普通草鱼与脆肉鲩既有外表形态差异,更有内部组织器官生理生化特性的显著不同。

3.1 形态差异的分析

普通草鱼与脆肉鲩的体长及体重具有典型的指数方程关系^[8,9]。草鱼脆化前后其体长及体重关系的指数方程式显著不同,系数 K 值相差 30% ~ 50%,脆肉鲩的横截面为近正方形,而普通草鱼则是椭圆形,可作为判断脆化程度的标准。同时,脆肉鲩的体长与体重指数方程变化可为网目的大小提供准确的数值,这对捕捞作业起着重要的作用,避免了因为网目的大小不适合而对脆肉鲩造成的机械损伤降低脆肉鲩的外观质量,减少其它不必要的损失。上述体重一样长关系可为合格脆肉鲩商品标准的制订提供参考,为鉴别和杜绝半脆肉鲩上市扰乱市场秩序提供简单可行的依据。

3.2 解剖生理学特征比较

高速巡游后的普通草鱼与高度脆化草鱼的外观及各器官的解剖切片、染色、镜检等解剖生理学特征进行了观察比较,可见两者之间有显著不同,脆化草鱼解剖除了试验解剖的外观表症外(表 4),在热变性(如真皮侧大肌)断裂应力物理学上更有显著的区别(脆化度的参考值),同时,脆化鲩的食物充塞度为 0 级,而普通草鱼均为 3 ~ 4 级以上,更好地说明脆肉鲩在脆化后期基本处于停食状态(或摄食量很少)这也是肿身死亡的重要特征。草鱼脆化最大特点是包括真皮及其衍生物鳞片、肌肉和各种组织器官,以及大多数细胞间质、全部基板、内皮细胞等的整体脆化,最终“肿身”死亡,可见,脆肉鲩的病理原因是生理病态而非生物致病因子所致。高度脆化草鱼巡游致死率可达 100%。刘建波等^[20]应用电子显微镜对脆肉鲩和普通草鱼的肌肉超微结构比较也证实:脆肉鲩肌肉超微结构中发生了较明显的变化,如肌原纤维中出现间隙,肌丝之间距离减小,但肌原纤维的外形仍保持完整。

3.3 生理生化特征的比较

3.3.1 普通草鱼与高度脆化草鱼携氧能力比较 试验结果表明脆化草鱼 HbO_2 与 O_2 的亲合力下降,只有高 DO 和低 CO_2 的水体,方能满足脆化草鱼病态生理功能要求。

高度脆化草鱼氧合血红蛋白(HbO_2)与正常草鱼比较,出现了本质区别。由表 1 可知,正常草鱼养殖成为商品脆化草鱼,其 DO 阈值由平均值 0.54mg/L 上升到平均值 1.68mg/L,呼吸抑制值由 1.59 ~ 1.62mg/L 上升到 2.85 ~ 3.08mg/L,这使脆肉鲩对养殖水质的 DO 值要求达到苛刻要求,集约养殖脆化草鱼的水体 DO 极易达到

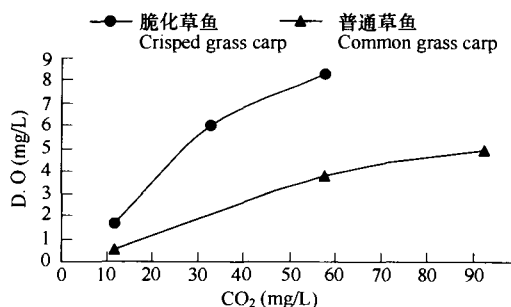


图 1 脆化草鱼、普通草鱼 Bohr 效应曲线

Fig. 1 Embrittle in the crisped grass carp and common grass carp Bohr effect curve

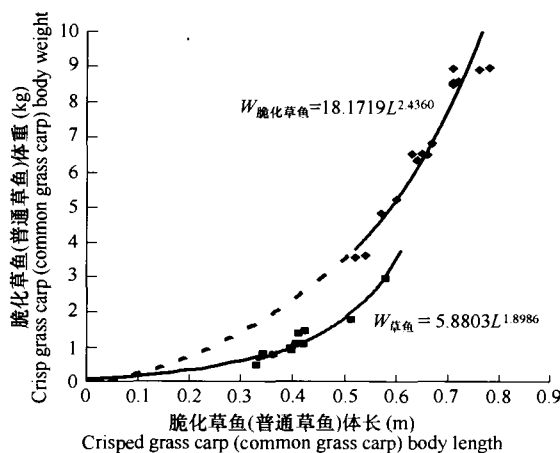


图 2 脆化草鱼与普通草鱼体长与体重的指数方程对照

Fig. 2 The relationship of body length and body weight of the crisped grass carp and common grass carp

虚线部份这一区域的脆化草鱼一般都不会出现的(或出现的几率很少),因为养殖商品脆化草鱼的体长一般都超过 40cm The crisped grass carp would be not appeared in the dashed range, for the length of the crisped grass carp being breded is usually more than 40cm

这个极限值。同时由表 2 可知, CO_2 麻醉浓度(呼吸抑制值)由 194mg/L 高浓度下降到 52.42 ~ 65.36mg/L, 分析 Bohr 效应(图 1), 可见脆化草鱼的斜率明显改变, Root 效应也随之明显改变, 由于这两个效应的改变, 当水中 CO_2 浓度含量小而且均匀时, 草鱼及脆化草鱼都表现正常, 但随着 CO_2 浓度的微小变化, 脆化草鱼血液携带 O_2 的能力(血氧浓度)却发生剧烈变化, 而普通草鱼则基本变化不大, 普通草鱼的 Bohr 效应曲线很平缓, 同时由于 Root 的改变, 脆化草鱼的 CO_2 麻醉浓度由 198mg/L 下降到 50mg/L, 即使 O_2 分压在较高的情况下, 也不能使脆化草鱼携氧达到饱和状态。因此, DO 固然是影响脆化草鱼养殖的重要限制因素, 但 Root 效应的明显改变, 使 CO_2 浓度也成为影响脆化草鱼养殖的另一重要因素, 因为当 CO_2 浓度超过 56.36mg/L 时, 脆化草鱼呼吸受麻醉而被抑制, 这也是脆化草鱼长途贮运的限制性因素, 因为即使充入高压氧气, 也难使脆化草鱼 HbO_2 达到饱和状态, 无法满足高度脆化草鱼的生理要求。为此, 脆化草鱼长途运输过程中要频繁更换旧水, 注入低 CO_2 浓度的新鲜水源。总之, 脆化草鱼养殖水体要求高 DO 和低 CO_2 , 以满足脆化草鱼病态的生理功能要求。因此, 增加水体 DO 值、降低 CO_2 浓度是提高脆化草鱼养殖和贮运成活率的有效方法。贮运时还可采取如下措施: 加冰降温、充氧增加 DO 饱和度, 减少运动耗氧, 降低酶活性, 缓和血红蛋白与 O_2 亲和力下降的不利因素, 从而减少脆化而造成的“病态”变化致死, 顺利存活到达目的地。

3.3.2 脆肉鲩的病理生理效应

(1) 脆肉鲩“脆肉”表症的饲料毒理学效应 草鱼脆化是渐进性过程, 符合饲料(蚕豆)生物剂量—效应反应的毒理学规律。经过本养殖场多年的养殖实践检验, 其毒理学参数的参考值为: $\text{LD}_{50} \geq 6.67\text{kg}/(\text{kgbw} \cdot 120\text{d})$; $\text{Lim}_{ac} = 3.97\text{kg}/(\text{kgbw} \cdot 54\text{d})$; $\text{Lim}_{ch} = 3.97\text{kg}/(\text{kgbw} \cdot 120\text{d})$; $\text{Zac} = 0.7560$; $\text{Zch} = 2.222$, 其蓄积系数 $K \approx 1$, 为 2 级, 是明显蓄积级别^[13,14]。肿身死亡可能与蚕豆中某些毒素(毒性氨基酸类等)作用有关, 因为脆化饲料蚕豆含某些毒素(毒性氨基酸类等)或其它成分, 对脆肉鲩的形成过程是有一定影响的, 如毒蚕豆甙、BOAA(β -N-草酰氨基-L-丙氨酸)等, 可直接影响脑组织成分含量和酶的活性, 从而导致特征肌肉痉挛。同时, β -氨基丙腈 β -aminopropionitrile (BAPN) 及其 γ -谷酰基衍生物—— γ -谷酰基- β -氨基丙腈(γ -glutamyl- β -aminopropionitrile)更能破坏结缔组织, 过分增加胶原溶解度, 使动脉纵向拉伸能力急降, 造成血管壁脆弱、动脉破裂, 加上 β -氨基丙腈 Cu^{2+} 的胺氧化酶及赖酰氧化酶的不可逆抑制剂抑制锁链素(desmosine)和异锁链素(isodesmosine)的合成, 使机体内弹性蛋白和胶原的多肽链不能交联, 更易使血管脆化破裂, 造成机体“肿身”死亡^[7,13]。尽管有人对草鱼等的生理生化特性和显微解剖结构作过研究^[17,18], 脆肉鲩的“脆化”过程中这方面的内容仍有等进一步深入, 因此, 在脆肉鲩养殖生产实践中, 同一养殖场或鱼塘放养待脆化草鱼必须同步同批进行, 要禁止混养一些曾经投喂了一定剂量蚕豆的普通草鱼, 保证脆肉鲩的同步“脆化”, 防止一些脆肉鲩进入病态“肿身”死亡, 一些还没有达到脆化的要求, 不同脆化度的草鱼混杂, 以减少不必要的经济损失。

(2) 普通草鱼与脆肉鲩体内酶和蛋白质含量的不同, 导致了脆肉鲩的病态表症 试验结果表明, 脆化草鱼由于机体饲料生理生化机能发生“病态”变化, 对养殖环境条件和养殖技术要求变得苛刻, 脆化草鱼的携氧能力下降, 同时由解剖镜检观察以及热变性物理分析的测量, 更可说明普通草鱼与脆肉鲩体内酶和蛋白质含量的不同, 含量差异显著, 对试验脆肉鲩运动系统的解剖学镜检发现循环系统障碍的突出表现为毛细血管壁破裂, 是机体死亡主要原因^[7,11,15]。邝雪梅等研究表明 G6PD 对草鱼组织化学的有显著影响, 脆化草鱼红细胞中 G6PD 明显减少^[11], 养殖实践证实了红细胞破裂直接导致脆化草鱼“肿身”死亡。尽管有人对草鱼等的生理生化特性和显微解剖结构作过研究^[17,18], 脆肉鲩的“脆化”过程中这方面的内容仍有等进一步深入。因此, 对已充分脆化和过度脆化的草鱼, 只有停止投喂蚕豆, 降解“脆化度”, 且不拉网上市, 避免剧烈运动, 才能使其病理生理机能不至于恶化导致“肿身”而死亡, 想借助任何抗菌素药物等防治这种“生理”肿身体致死均是徒劳的。

(3) 从“血常规”分析脆肉鲩发生“肿身”病的发生 试验结果表明, 脆肉鲩在高速巡游后出现肿身死亡, 据唐湘北等对脆肉鲩血常规及血清游离氨基酸分析研究^[50], 草鱼的 $\text{RBC}(\text{万}/\text{mm}^3)$ 为 199 ± 2.02 , $\text{WBC}(\text{万}/\text{mm}^3)$ 为 3.95 ± 0.020 , $\text{PLT}(\text{万}/\text{mm}^3)$ 为 87 ± 2.19 , 而脆肉鲩的 $\text{RBC}(\text{万}/\text{mm}^3)$ 为 214 ± 0.65 , $\text{WBC}(\text{万}/\text{mm}^3)$ 为 $4.05 \pm$

0.198, PLT(万/mm³)为 83 ± 1.29 , 经 *T* 检验, 红细胞、白细胞都有极显著差异 ($p < 0.01$), 血小板有所下降。正常情况下 RBC 的生成与衰亡保持动态平衡, 多种原因可使 RBC 的生成与衰亡的动态平衡遭到破坏, 导致 RBC 与 Hb 的数量减少或增多, 或质量发生变化。此数据正好说明脆肉鲩红细胞增加是因为在脆化养殖过程中, 脆肉鲩机体本身的氧合血红蛋白(HbO₂)某种的原因, 使机体内环境处于一个缺氧的状态, 通过增加红细胞的数量来满足氧合血红蛋白(HbO₂)对水体溶解氧(DO)分压结合要求, 满足脆肉鲩病理生理需要。可见, 由普通草鱼向脆肉鲩转化, 脆肉鲩机体的内环境是处于缺氧状态的, 由于血红蛋白(Hb)含量下降的原因, 通过“代偿”作用增加红细胞的数量的病态反应来加强氧合血红蛋白(HbO₂)对水体溶解氧(DO)O₂ 的亲合力, 维持机体的生理功能。另外, 有学者研究数据表明元素 Fe 在草鱼肌肉含量 $X = 0.0786$, $S = 0.009$, 在脆肉鲩肌内含量是 $X = 0.1568$, $S = 0.023$ ^[1]。这一研究结果明确 Fe 含量决定脆肉鲩与草鱼在造血机制上出现了显著的差异。Fe 的含量在机体是保持相对稳定的, 即吸收与丧失是平衡的, 是保持着动态平衡的, Fe 与原卟啉 IX 组成了血红素, Fe 的增加更加说明了 Fe 离子元素的参与合成更多的血红素, 这与“代偿”作用来增加 HbO₂ 含量是有着因果关系。同时, 白细胞 WBC 说明了脆肉鲩机体本身的免疫机制作用, 机体本身感到了病态, 通过增加白细胞的数量来产生免疫反应, 保护机体不被破坏或防止机体进一步进入生理病态。白细胞 WBC 的功能具有双重性意义: 既可防御保护, 又能攻击自身。由于白细胞结构及生理功能复杂, 运动规律多变, 目前在国内外研究的资料较少。脆肉鲩血小板的含量比草鱼要低, 对脆肉鲩来说是一个致命的病理生理, 因为血小板的主要功能是参与凝血和止血过程。血小板对血管损伤有很大的止血作用, 否则会造成严重的后果。综上所述, 过度脆化草鱼肿身疾病导致死亡是必然的。

4 结束语

草鱼脆化程度和体征改变符合饲料(蚕豆)剂量——效应反应的毒理学规律。草鱼脆化是一个极其复杂的生理生化过程, 包括同化与异化作用的相互关系, 生物大分子的结构及功能的改变, DO 阈值的明显下降, Root 效应及 Broh 效应的显著改变, 最终导致脆化草鱼形态改变, 其中体长、体重的指数方程 $W = at^n$ 明显改变。因此, 认识脆化草鱼病理生理的发展过程, 适当调控草鱼脆化养殖的饲料和水质 DO 及 CO₂ 环境条件, 把握好草鱼脆化上市最佳时间和运输最佳条件, 做到既可养殖出适合消费者需求的合格证脆化草鱼, 杜绝半脆鲩上市, 又防止高度脆化造成的“肿身”病变死亡, 对提高脆化草鱼的综合效益有重要指导作用。

References:

- [1] Kuang X M, Zhang H, Chen B. Comparison on the content of the Nutrient composition in Grass Carp, s Muscle and the Glucose-6-phosphoclehyolrogenase in Its Erghthrocyte form the Beginning to the End of Making Grass Carp, s Meat crisp to the taste. Journal of Hainan University (Natural Sciences), 2004, 22(3):258 ~ 261.
- [2] Xiao D Y, Liu J B, Chen Q H. The analysis of nutritional value in crisped Grass Carp, s Muscle. J. Fresh Water Aquaculture, 2004, 34:(3):28 ~ 30.
- [3] Chen N S, Shi Q F. Study on suffocating phenomenon of cultivating fishes. Acta Hydrobiologica Sinica, 1955(1):1 ~ 6.
- [4] Bing Z S, Du M Q, Chen H M. Technology for microtome. Beijing: People's Education Publishing House, 1980.155 ~ 156.
- [5] Wang Y Q, Huang X Z, Zhao C X. Fish's Physiology. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1990.100 ~ 110.
- [6] Wei W H. Pathology physiology. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984.110 ~ 140.
- [7] Szumiec, Maria Anna, Maliczak, Adam Validation of a model of 2-year-old carp growth. J. Aquaculture, 1995. 129(1-4):337 ~ 340.
- [8] Tan Q K, Li H S. Effects of diets does and water quality on the transformation of common grass carpto crisped grass. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2409 ~ 2415.
- [9] Tan Q K, Li H S. Breed aquatics techniques regulations for the healthy crisped grass carp. Agro-environment and Development, 2005, (6):37.
- [10] Chen H L Structure and function of the biological macromolecule. Shanghai: Shanghai Medical University Press, 2000.113 ~ 122, 155.
- [11] S L Hsieh, W L Liaoand, C M Kuo. Molecular cloning and sequence analysis of stearyl-CoA desaturase in milkfish, *Chanos chanos* Comparative Biochemistry and Physiology Part B. Biochemistry and Molecular Biology, 2001, 130(4):467 ~ 477.
- [12] Yi Y H. The fodder poisonous substance & analysis. Beijing: Agricultural Press, 1992.51 ~ 79.
- [13] Liu Y G. Toxicology foundation of the hygiene. Beijing: People's Health Press, 1987.5 ~ 12.
- [14] Microbiology Lab of Zhongshan University. Biotechnology introduction. Beijing: People's Education Press, 1979. 25 ~ 36.

- [15] Zhao Y R, Jin H, Wang H Q. Analysis of the Distinction of Free Amino Acids in Hepatopancreas between Common Grass Carp and Crisped Grass Carp. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2004, 30(3):195 ~ 198.
- [16] Guo, Q L, Lu Q Z. Ultrastructural and Cytochemical Studies on the Development of Haemetic Cells in the Kidney and Spleen of the Grass Carp. *Chinese Science Abstracts Series B*, 1995, 14(1) 23 ~ 24.
- [17] Chiu S W, Wang Z M, TMLeung Moore. Nutritional value of Ganoderma extract and assessment of its genotoxicity and anti-genotoxicity using comet assay of mouse lymphocytes. *Food and Chemical Toxicology*, 2000, 38(2 ~ 3):173 ~ 178.
- [18] Tang X B, Xiao D Y, Peng Z Y. Analysis the blood routine and the Serum of amino acid dissociate. *Landlocked Aquatic Products*, 2004, 26(5):54 ~ 55.
- [19] Liu J B, Chen K J, Se S M, *et al*. The analysis of ultra-structure in crisped Grass Carp, s Muscle. *Reservoir Fishies*, 2005, 25(3):65 ~ 67.

参考文献:

- [1] 邝雪梅, 张环, 陈斌, 等. 草鱼脆化前后肌肉营养成分及其红细胞中葡萄糖-6-磷酸脱氢酶含量的比较. *海南大学学报(自然科学版)*, 2004, 22(3):258 ~ 261.
- [2] 肖调义, 刘建波, 陈清华. 脆肉鲩肌肉营养特性分析. *淡水渔业*, 2004, 34:(3):28 ~ 30.
- [3] 陈宁生, 施琼芳. 饲养鱼窒息现象的研究. *水生生物学集刊*, 1955, (1)1 ~ 6.
- [4] 芮菊生, 杜懋琴, 陈海明, 等编著. 组织切片技术, 北京:人民教育出版社, 1980. 155 ~ 156.
- [5] 王义强, 黄世蕉, 赵成信, 等编著. 鱼类生理学. 上海:上海科学技术出版社, 1990. 100 ~ 110.
- [6] 魏文汉主编. 病理生理学(下册). 上海:上海科学技术出版社, 1984. 110 ~ 140.
- [8] 谭乾开, 黎华寿. 食物与水环境因子对草鱼脆化过程影响的初步研究. *生态学报*, 2006, 26(7):176 ~ 183.
- [9] 谭乾开, 黎华寿. 无公害农产品脆肉鲩生产技术规程. *农业环境与发展*, 2005, (6):37.
- [10] 陈惠黎主编. 生物大分子的结构和功能. 北京:上海医科大学出版社, 2000. 113 ~ 122, 155.
- [12] 于炎湖主编. 饲料毒物学附毒物分析. 北京:农业出版社, 1992. 51 ~ 79.
- [13] 刘毓谷主编. 卫生毒理学基础. 北京:人民卫生出版社, 1987. 5 ~ 12.
- [14] 中山大学生物系微生物学教研室主编. 生物技术导论. 北京:人民教育出版社, 1979. 25 ~ 36.
- [15] 赵玉蓉, 金宏, 王红权. 普通草鱼与脆肉鲩肝胰脏游离氨基酸的差异. *湖南农业大学学报自然科学版*, 2004, 30(3):195 ~ 198.
- [18] 唐湘北, 肖调义, 彭正宇. 脆肉鲩血常规及血清游离氨基酸分析. *内陆水产*, 2004, 26(5):54 ~ 55.
- [19] 刘建波, 陈开健, 余曙明, 等. 脆肉鲩肌肉超微结构分析. *水利渔业*, 2005, 25(3):65 ~ 67.