

文章编号: 1004 - 7271(2008)02 - 0193 - 06

植物提取物对异育银鲫生长、免疫与 抗氧化相关因子及抗病力的影响

刘 波¹, 周群兰¹, 何义进¹, 何庆国¹, 谢 骏¹, 徐 跑¹, 周 玲²

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部水生动物遗传育种
和养殖生物学重点开放实验室, 江苏 无锡 214081;
2. 无锡正大畜禽有限公司, 江苏 无锡 214112)

摘 要:将 360 尾异育银鲫随机分成四组, 一组为对照组, 投喂基础日粮, 另外三组为试验组, 投喂基础日粮中分别添加 6 mg/kg 黄霉素组、200 mg/kg 植物提取物组、300 mg/kg 植物提取物组。连续投喂 70 d 后, 测定鱼的生长、血清溶菌酶活性、一氧化氮浓度、超氧化物歧化酶活性、过氧化氢酶活性、丙二醛含量等。结果表明: 与对照组相比, 添加 300 mg/kg 植物提取物显著提高了鱼体增重率和特定增长率; 添加 200 ~ 300 mg/kg 植物提取物显著提高了血清溶菌酶活性, 一氧化氮浓度, 超氧化物歧化酶活性, 降低了饵料系数与血清丙二醛浓度; 6 mg/kg 黄霉素组增重率、特定增长率有增加趋势, 差异不显著, 但是显著提高了鱼体内脏比、肝体比、饱满度、血清溶菌酶活性、一氧化氮浓度和过氧化氢酶活性。鱼攻毒试验也表明, 添加中草药、黄霉素降低鱼的死亡率。因此添加 200 ~ 300 mg/kg 植物提取物能提高机体免疫机能与抗氧化能力, 抵抗病原菌感染, 促进鱼体生长。

关键词:异育银鲫; 植物提取物; 免疫; 抗氧化; 抗病力; 生长

中图分类号: S 963.1 **文献标识码:** A

Effects of plants extracts on growth, factors associated with immunity and antioxidation, and disease resistance of allogynogenetic crucian carp (*Carassius auratus* *gibelio* var. *E' erqisi*, Bloch)

LIU Bo¹, ZHOU Qun-lan¹, HE Yi-jin¹, HE Qing-guo¹, XIE Jun¹, XU Pao¹, ZHOU Ling²

(1. Key Open Laboratory for Genetic Breeding of Aquatic Animals and Aquaculture Biology, Ministry of Agriculture,
Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;

2. Wuxi Zhengda Poultry Co. Ltd, Wuxi 214112, China)

Abstract: A total of 360 allogynogenetic crucian carp were allotted into four groups randomly. The control group was fed with basal diet, the others were the treated groups fed with basal diet supplemented with 6 mg/kg flavomycin, 200 mg/kg plants extracts and 300 mg/kg plants extracts, respectively. After 70 days of feeding, the growth, lysozyme activity, nitric oxide content (NO), superoxide dismutase activity (SOD), catalase

收稿日期: 2007-07-16

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研专项资金项目(115023)

作者简介: 刘 波(1978-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事水产动物营养与免疫方面的研究。E-mail: liubo@ffrc.cn

通讯作者: 谢 骏, Tel: 0510-85551442; E-mail: xiej@ffrc.cn

activity (CAT), malondialdehyde content (MDA), and disease resistance of allogynogenetic crucian carp were investigated. The results showed that ingestion of 300 mg/kg plants extracts significantly increased growth gain rate, and specific growth rate; ingestion of 200 – 300 mg/kg plants extracts apparently enhanced serum Lysozyme activities, NO contents, SOD activities, and significantly decreased feed conversion rates and serum MDA contents, ingestion of 6 mg/kg flavomycin had no significant effect on growth gain rate, and specific growth rates; however apparently increased viserosomatic indices, hepatosomatic indices, and fullness indices, serum lysozyme activity, NO content, and CAT activity. The artificial infection with *A. hydrophila* caused mortality in all groups, but the control was the highest. Therefore it indicates that ingestion of 200 – 300 mg/kg dose of plants extracts could improve immunity and antioxidation ability, help to prevent the pathogeny infection and promote fish growth.

Key words: allogynogenetic crucian carp; plants extracts; immunity; antioxidation; disease resistance; growth

天然植物提取物具有天然、高效、毒副作用少、资源丰富等优点,含有与动物的免疫功能密切相关的生物碱、茶多酚、皂甙、低聚糖、黄酮类物质、挥发油类等^[1],是我国传统的防病治病药物。在水产上研究,中草药等天然植物通过影响水产动物机体代谢和蛋白质及酶的合成,促进机体的生长发育^[2-3],并通过影响非特异性免疫系统,影响血液溶菌酶、白细胞吞噬、NBT 阳性细胞数量、血清补体 C₃ 和 C₄ 等多种因子^[4-10],提高机体免疫力。这些报道大都是针对中草药等天然植物及提取物对水产动物免疫的影响,而对其抗氧化功能的研究报道还少见。本试验主要探讨植物提取物对异育银鲫生长,免疫及抗氧化能力,为植物提取物作为中草药使用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验鱼种

异育银鲫由中国水产科学研究院淡水渔业研究中心渔场提供。2006年7月8日选择健康、规格、重量基本一致异育银鲫360尾,个体初重为(98.01 ± 1.55)g。随机分为I、II、III、IV四组,分别为对照组、6 mg/kg 黄霉素组、200 mg/kg 植物提取物组、300 mg/kg 植物提取物组,每组设3个平行试验,每个平行30尾试验鱼,共12个网箱(规格为2.50 m × 1.50 m × 1.00 m)。

1.2 试验日粮及促生长剂

试验日粮为基础日粮,见表1,分别添加6 mg/kg 国产黄霉素、200 mg/kg 植物提取物、300 mg/kg 植物提取物。各种原料分别粉碎过60目筛,先把磷酸二氢钙、棒土、沸石粉、添加剂等混匀,再加大料逐级充分混匀,后加适量水,用小型绞肉机制成粒径2.0 mm 的湿颗粒饲料,晾干备用。

国产黄霉素、植物提取物等由无锡正大畜禽有限公司提供,其中植物提取物主要含有生物碱、甙类、鞣质和糖萜等。试验添加量参考该产品的用量,见表2。

表1 异育银鲫基础日粮与营养水平

Tab.1 The basic diet and nutrition levels of allogynogenetic crucian carp

日粮组成(%)	营养水平		
鱼粉	4	干物质(%)	89.12
豆粕	18	总能(kJ/g)	17.03
花生粕	8	粗蛋白(%)	30.49
菜籽粕	26	总磷(%)	1.24
棉粕	8	钙(%)	0.78
次粉	25	蛋氨酸+胱氨酸(%)	1.25
鱼油	3	赖氨酸(%)	1.89
维生素添加	1		
矿物质添加剂	1		
棒土	1		
沸石粉	2.5		
磷酸二氢钙	2		
食盐	0.5		
合计	100		

注:营养水平含量中总能(GE) kJ/g 按蛋白质 23.64 kJ/g,脂肪 39.54 kJ/g,糖 17.15 kJ/g 计算;其他为实测值

表2 试验异育银鲫鱼日粮

Tab.2 The daily diet of allogynogenetic crucian carp

组别	试验日粮
I	基础日粮
II	基础日粮 + 6 mg/kg 黄霉素
III	基础日粮 + 200 /kg 植物提取物
IV	基础日粮 + 300 mg/kg 植物提取物

1.3 饲养试验

异育银鲫在中国水产科学研究院淡水渔业研究中心实验基地在网箱驯化30 d后投喂试验日粮,以鱼体重的2%~4%投喂。每天投喂2次,在早上8:00-9:00投喂适量,下午16:00-17:00各再投喂一次。饲养过程中每天8:00及16:00各测温一次,每周测一次水质,整个实验期间水质如下:饲养过程中平均水温(24.50 ± 4.32) $^{\circ}\text{C}$;溶氧 >4 mg/L,氨氮 <0.01 mg/L,硫化氢 <0.01 mg/L,pH为6.8~8.6等。每隔一周,增加饲料量,并每两周对鱼体称重调整采食量,70 d后,称量每个网箱异育银鲫总重以计算增重率、末均重、特定生长比率等指标。在每个网箱中随机抽取3尾异育银鲫,采血,量取体长、体重以及肝脏重以计算肝体比、肥满度等指标。

1.4 攻毒试验

在试验结束后选择体重基本一致鱼进行攻毒试验,每个剂量组分三个平行组,每个平行组均为10尾鱼。病原菌采用浙江省淡水水产研究所提供嗜水气单胞菌(Ah-BSK-10),将两次活化后的Ah-BSK-10用无菌生理盐水稀释,使终浓度为 1×10^8 cells/mL。按每100 g鱼重腹腔注射菌液1.0 mL后,放养于同样规格的12个玻璃缸中(45 cm \times 75 cm \times 100 cm),保证充足的氧气,每天观察鱼体死亡情况,观察1周,统计死亡率。

1.5 血液采集与测定

在试验结束每个平行组取3尾鱼采血,将鱼迅速捞起并立即投入浓度为200 mg/L的MS-222中做快速深度麻醉,2 mL注射器管壁用肝素润湿,尾静脉采血,血样在4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱静置1~2 h后,在4 $^{\circ}\text{C}$ 、3 000 \times g、离心10 min制备血清。上清液移入-20 $^{\circ}\text{C}$ 保存。溶菌酶活性参照Yin等^[6]方法测定;丙二醛参照向荣和王鼎年^[11]的过氧化脂质硫代巴比妥酸分光光度计测定;超歧化物酶活性参照丁立博等^[12]吲氧化酶法测定,一氧化氮参照朱宏友等^[13]方法测定,过氧化氢酶参照Sinha^[14]方法测定,相关试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.6 相关指标的计算公式

增重率(%) = [(试验末鱼体均重 - 试验初鱼体均重) / 试验初鱼体均重] \times 100

特定生长率(%) = [(ln 试验末鱼体均重 - ln 试验初鱼体均重) / 试验天数] \times 100

饵料系数 = 饲料消耗量 / 鱼体增重量

肝体比(%) = (试验末鱼体肝重 / 试验末鱼体重) \times 100

丰满度(%) = (试验末鱼体重 / 试验末鱼体长度³) \times 100

内脏比(%) = (试验末鱼内脏重 / 试验末鱼体重) \times 100

死亡率(%) = [(试验初鱼体尾数 - 试验末鱼体尾数) / 试验初鱼体尾数] \times 100

保护率(%) = (对照组死亡率 - 试验组死亡率) / 对照组死亡率 \times 100

1.7 数据统计与分析

数据用SPSS(Ver. 11.5)软件Duncan多重比较检验各组间的差异, $P < 0.05$ 表示差异显著。所有的结果均以平均值 \pm 标准误($\bar{X} \pm \text{SE}$)表示。

2 结果与分析

2.1 植物提取物对异育银鲫增重的影响

由表3可知,与对照组相比,300 mg/kg植物提取物组异育银鲫增重率、特定生长率显著($P < 0.05$)提高了107.34%、82.05%,饵料系数显著($P < 0.05$)降低了43.98%;200 mg/kg植物提取物组特定生长率也显著($P < 0.05$)提高了46.15%,饵料系数显著($P < 0.05$)降低了27.44%;6 mg/kg黄霉素组增重率、特定生长率仅有增加趋势,其他组之间差异不显著。说明200~300 mg/kg植物提取物能促进异育银鲫生长。

表3 植物提取物对异育银鲫增重率及饵料系数的影响

Tab.3 Effects of plants extracts on weight gain rate and feed conversion rate of allogynetic crucian carp

添加量	初均重(g)	末均重(g)	增重率(%)	特定生长率(%)	饵料系数
对照组	99.88 ± 4.34	134.14 ± 7.33 ^b	34.32 ± 4.47 ^b	0.39 ± 0.04 ^c	2.66 ± 0.27 ^a
6 mg/kg 黄霉素	101.96 ± 2.69	148.04 ± 5.39 ^{ab}	45.11 ± 1.52 ^b	0.49 ± 0.01 ^{bc}	2.10 ± 0.16 ^{ab}
200 mg/kg 植物提取物	95.75 ± 1.75	146.39 ± 3.20 ^{ab}	53.05 ± 5.18 ^{ab}	0.57 ± 0.04 ^{ab}	1.93 ± 0.13 ^b
300 mg/kg 植物提取物	94.42 ± 2.20	161.65 ± 10.42 ^a	71.16 ± 9.57 ^a	0.71 ± 0.08 ^a	1.49 ± 0.22 ^b

注:同一列数据中有不同字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

2.2 植物提取物对异育银鲫生物学指标的影响

由表4可知,与对照组相比,6 mg/kg 黄霉素组异育银鲫内脏比、肝体比、肥满度显著($P < 0.05$)提高了19.27%、34.16%、6.69%,200~300 mg/kg 植物提取物组内脏比、肝体比有增加趋势,除200 mg/kg 植物提取物肥满度显著($P < 0.05$)提高了5.35%外。各试验组异育银鲫死亡率与对照组差异均不显著。各组肝体比的增加,特别是黄霉素组,说明机体代谢的旺盛,肝脏功能可能存在一定的负担。

表4 植物提取物对异育银鲫内脏比、肝体比、肥满度以及死亡率的影响

Tab.4 Effect of plants extracts on viserosomatic indices, hepatosomatic indices, fullness indices and mortality rate of allogynetic crucian carp

添加量	内脏比(%)	肝体比(%)	肥满度(%)	死亡率(%)
对照组	13.75 ± 0.27 ^b	5.24 ± 0.54 ^b	2.99 ± 0.03 ^c	8.33 ± 0.83
6 mg/kg 黄霉素	16.40 ± 0.33 ^a	7.03 ± 0.29 ^a	3.19 ± 0.07 ^a	4.17 ± 0.83
200 mg/kg 植物提取物	14.81 ± 0.73 ^b	5.93 ± 0.69 ^{ab}	3.15 ± 0.03 ^{ab}	5.00 ± 2.50
300 mg/kg 植物提取物	14.15 ± 0.24 ^b	5.42 ± 0.26 ^{ab}	3.02 ± 0.03 ^{bc}	3.33 ± 0.83

2.3 植物提取物对异育银鲫血液免疫与抗氧化的影响

由表5可知,与对照组相比,6 mg/kg 黄霉素组、200 mg/kg 植物提取物、300 mg/kg 植物提取物血液溶菌酶活性、一氧化氮浓度等分别显著($P < 0.05$)增加了65.69%、113.02%、140.16%;32.39%、125.35%、136.32%;血液丙二醛浓度显著($P < 0.05$)降低了66.19%、61.00%、58.30%。200 mg/kg 植物提取物、300 mg/kg 植物提取物血液超氧化物歧化酶活性显著($P < 0.05$)增加了17.96%、20.53%。说明日粮中添加黄霉素与植物提取物对提高机体免疫与抗氧化有一定的作用。

表5 植物提取物对异育银鲫血液免疫与抗氧化的影响

Tab.5 Effects of plants extracts on serum anti-oxidatives and immune activities of allogynetic crucian carp

添加量	溶菌酶活性 ($\mu\text{g/mL}$)	一氧化氮 ($\mu\text{mol/L}$)	过氧化氢酶	超氧化物歧化酶	丙二醛
对照组	9.91 ± 1.14 ^c	249.12 ± 33.47 ^c	5.24 ± 0.54 ^b	56.96 ± 8.08 ^b	141.74 ± 20.07 ^a
6 mg/kg 黄霉素	16.42 ± 1.31 ^b	329.82 ± 12.65 ^b	7.03 ± 0.29 ^a	65.67 ± 1.91 ^{ab}	47.92 ± 4.63 ^b
200 mg/kg 植物提取物	21.11 ± 0.97 ^a	561.40 ± 9.28 ^a	5.93 ± 0.69 ^{ab}	72.49 ± 1.64 ^a	55.28 ± 1.20 ^b
300 mg/kg 植物提取物	23.80 ± 1.52 ^a	589.47 ± 30.39 ^a	5.42 ± 0.26 ^{ab}	74.07 ± 0.94 ^a	59.10 ± 1.81 ^b

2.4 植物提取物对异育银鲫病原菌感染后的保护作用

由表6可知:病原菌感染鱼体后,对照组死亡率为100%,6 mg/kg 黄霉素、200 mg/kg 植物提取物与300 mg/kg 植物提取物组鱼死亡率分别为66.67%、73.33%、83.33%;保护率分别为33.33%、26.67%、16.67%,其中6 mg/kg 黄霉素组效果是最好的,说明该中草药与黄霉素对病原菌感染有一定保护作用。

表 6 植物提取物对异育银鲫感染嗜水气单胞菌后的保护作用

Tab. 6 Protection of plants extracts of allogynetic crucian carp from *A. hydrophila* infection

添加量	鱼尾数	死亡鱼数	死亡率(%)	保护率(%)
对照组	30	30	100.00 ± 0.00 ^a	-
6 mg/kg 黄霉素	30	20	66.67 ± 6.67 ^b	33.33 ± 6.67
200 mg/kg 植物提取物	30	22	73.33 ± 6.67 ^b	26.67 ± 6.67
300 mg/kg 植物提取物	30	25	83.33 ± 3.33 ^b	16.67 ± 3.33

3 讨论

植物提取物具有天然、高效、毒副作用少、资源丰富等优点,含有与动物的免疫功能密切相关的生物碱、茶多酚、皂甙、低聚糖、黄酮类物质、挥发油类等^[1],日粮中添加植物提取物能提高机体的特异与非特异免疫力^[4-10],提高抗氧化能力^[15],维持肠道菌群的作用^[2],同时植物提取物本身含有多糖、蛋白质、氨基酸、维生素及微量元素等,能促进鱼体的生长。本试验也表明 200~300 mg/kg 植物提取物提高了鱼体的生长,降低了饵料系数。

MDA 是脂质过氧化物的主要分解产物,MDA 含量升高实际上是氧自由基产生过多,使体内脂质过氧化物增加。脂质过氧化物进一步分解,可产生大量的醛类、醇类和烃类,其中,MDA 是具有很强生物毒性的物质^[17-18],因而会对机体造成伤害。超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)等组成的抗氧化酶系统,在抗氧化损伤中居于重要地位。氧自由基在 SOD 作用下生成氧分子和过氧化氢,过氧化氢在 CAT 作用下生成水,从而清除自由基,减少脂质过氧化损伤^[19-20]。和水祥等^[15]、滕旭等^[16]报道中草药丹参、维生素 C、多聚磷酸酯等能增强抗氧化能力,减少抗氧化损伤。本试验也表明投喂 200~300 mg/kg 植物提取物提高了鱼体肝脏过氧化氢酶、超氧化物歧化酶活性,降低了丙二醛浓度,提高鱼体抗氧化能力。

溶菌酶是生物体内重要的非特异性免疫因子之一,水生动物血清溶菌酶活力的高低是衡量机体免疫状态的指标之一。血清溶菌酶活力提高,其免疫能力也相应提高^[21-22]。NO 是多功能的生物活性分子,在免疫系统中,巨噬细胞产生的 NO 还具有抗肿瘤、抗菌、抗病毒、抗寄生虫以及介导细胞毒效应和免疫调节等作用^[23-24]。日粮添加中草药可以提高机体溶菌酶活性、一氧化氮浓度等,增强了免疫与抗氧化功能^[4-6],本试验投喂 200~300 mg/kg 植物提取物提高了鱼体的溶菌酶活性、一氧化氮浓度,能增强机体免疫能力。相应的攻毒试验也表明,添加 200~300 mg/kg 植物提取物能增加鱼体对感染嗜水气单胞菌抗感染能力。这可能原因是本实验的植物提取物主要含有生物碱、甙类、鞣质和糖苷有关,与动物的免疫功能密切相关^[1],能提高机体的特异、非特异免疫功能,从而提高鱼体的抗病力。

黄霉素是上世纪 70 年代开发的一种抗生素饲料添加剂,由于其分子量大、在动物消化道内不易吸收、难在机体内残留,在水产养殖中已得到了使用。在草鱼和异育银鲫日粮中添加黄霉素,促进了鱼体生长^[25-26]。本试验也表明 6 mg/kg 黄霉素能提高鱼体生长,显著提高了鱼体内脏比、肝体比、肥满度、血清溶菌酶活性,一氧化氮浓度,过氧化氢酶活性。但是抗生素的使用存在药物残留、细菌耐药性的产生、引起动物免疫力下降和微生态失调等一系列不良后果,黄霉素在 2005 年也被欧盟禁止了,因此推广无毒、无害、无污染、无残留的天然植物提取物,能达到促进鱼体生长,增强机体免疫力、提高动物抗病能力。从本试验鱼体增重效果来看,200~300 mg/kg 植物提取物可替代黄霉素促生长。

参考文献:

- [1] 程志斌,葛长荣,韩剑众. 中草药有效成分对动物免疫功能的影响及其应用[J]. 动物科学与动物医学,2002,19(1):1-3.
- [2] 刘红柏,张 颖,杨雨辉,等. 5 种中草药作为饲料添加剂对鲤肠内细菌及生长的影响[J]. 大连水产学院学报,2004,19(1):16-20.
- [3] 邱小琼,周洪琪,横山雅仁,等. 中草药添加剂对异育银鲫肌肉生化成分的影响[J]. 上海水产大学学报,2003,12(1):24-28.
- [4] Immanue G, Vincybai V C, Sivaram V, et al. Effect of butanolic extracts from terrestrial herbs and seaweeds on the survival, growth and

- pathogen (*Vibrio parahaemolyticus*) load on shrimp *Penaeus indicus* juveniles [J]. *Aquaculture*, 2004, 236(1-4): 53-65.
- [5] Chansue N, Ponpornpisit A. Improved immunity of tilapia *Oreochromis niloticus* by C-UP III, a herb medicine [J]. *Fish Pathol*, 2000, 35: 89-90.
- [6] Yin G J, Jeney G, Racz T, et al. Effect of two Chinese herbs (*Astragalus radix* and *Scutellaria radix*) on non-specific immune response of tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. *Aquaculture*, 2006, 253(1-4): 39-47.
- [7] 陈孝焯, 吴志新, 殷居易, 等. 大黄、穿心莲、板蓝根和金银花对异育银鲫免疫机能的影响 [J]. *中国水产科学*, 2003, 10: 36-40.
- [8] Sivaram V, Babu M M, Immanuel G, et al. Growth and immune response of juvenile greasy groupers (*Epinephelus tauvina*) fed with herbal antibacterial active principle supplemented diets against *Vibrio harveyi* infections [J]. *Aquaculture*, 2004, 237(1-4): 9-20.
- [9] Jian J, Wu Z. Effects of traditional Chinese medicine on nonspecific immunity and disease resistance of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* (Richardson) [J]. *Aquaculture*, 2003, 218: 1-9.
- [10] 周显青, 牛翠娟, 孙儒泳. 黄芪和酸应激对中华鳖幼鳖血清补体 C₃ 和 C₄ 含量的影响 [J]. *动物学研究*, 2002, 23(2): 177-180.
- [11] 向荣, 王鼎年. 过氧化脂质硫代巴比妥酸分光光度法的改进 [J]. *生物化学和生物物理进展*, 1990, 17(3): 241-242.
- [12] 丁立博, 龚建福, 黄贤仪. 金属硫蛋白提取液对镉中毒小鼠脂质过氧化损伤的修复作用 [J]. *新疆医科大学学报*, 2005, 28(5): 389-391.
- [13] 朱宏友, 王广军, 余德光, 等. 水温骤降后凡纳滨对虾血清中 NO、NOS 水平及对副溶血弧菌的敏感性 [J]. *大连水产学院学报*, 2006, 21(1): 46-50.
- [14] Sinha A K. 1972. Colorimetric assay of catalase [J]. *Anal Biochem*, 47, 389-394.
- [15] 和水祥, 徐俊丽, 赵刚, 等. 丹参对肝硬化上消化道大出血患者体内脂质过氧化状态的影响 [J]. *世界华人消化杂志*, 2007, 15(2): 181-184.
- [16] 滕旭, 武文琦, 周显青. 维生素 C 多聚磷酸酯对小鼠肝脏抗氧化酶基因转录的影响 [J]. *动物学报*, 2006, 52(6): 1107-1112.
- [17] 丁可祥. SOD 临床研究集 [M]. 北京: 原子能出版社, 1992: 1-12.
- [18] 顾军, 龚锦涵, 殷岳保, 等. 高压氧间断暴露及氧惊厥对大鼠抗氧化酶活力及脂质过氧化物含量的影响 [J]. *中华航海医学杂志*, 1995, 2(4): 31-34.
- [19] 周显青, 梁洪蒙. 拥挤胁迫下小鼠肝脏脂质过氧化物含量和抗氧化酶活性的变化 [J]. *动物学研究*, 2003, 24(3): 238-240.
- [20] 周显青, 李胜利, 王晓辉. 维生素 C 多聚磷酸酯对小鼠肝脏脂质过氧化物和抗氧化酶的影响 [J]. *动物学报*, 2004, 50(3): 370-374.
- [21] Haug T, Kjullil A K, Stensvag K. Antibacterial activity in four marine crustacean decapods [J]. *Fish Shellfish Immunol*, 2002, 12(5): 371-385.
- [22] Rojtinakem J, Hirono I, Itami T. Gene expression in haemocytes of Kuruma prawn, *Penaeus japonicus*, in response infection with WSSV by KST approach [J]. *Fish Shellfish Immunol*, 2002, 13(1): 69-83.
- [23] Tafalla C, Figueras A, Nonoa B. Role of nitric oxide on the replication of viral haemorrhagic septicemia virus (VHSV) [J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 1999, 72: 249-256.
- [24] 何永明. 一氧化氮的生理作用与中药调节 [J]. *中兽医杂志*, 2000, 2: 35-38.
- [25] 罗莉, 梁金权, 唐显虹, 等. 国产与进口黄霉素对草鱼生产性能影响的比较 [J]. *饲料博览*, 2005, 6: 43-45.
- [26] 冷向军, 李小勤, 刘尧军. 黄霉素对异育银鲫生长和粗蛋白质消化率影响 [J]. *中国饲料*, 2005, 8: 35-36.