

盐度对高体革鲃生长和肉质的影响

梁拥军¹ 孙向军¹ 史东杰¹ 邵胜男² 孙砚胜¹

(1. 北京市水产科学研究所暨国家淡水渔业工程技术研究中心, 北京 100068; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

EFFECTS OF SALINITY ON GROWTH AND FLESH QUALITY OF *SCORTUM BARCOO*

LIANG Yong-Jun¹, SUN Xiang-Jun¹, SHI Dong-Jie¹, SHAO Sheng-Nan² and SUN Yan-Sheng¹

(1. Beijing Fisheries Research Institute, National Engineering Research Center for Freshwater Fisheries, Beijing 100068; 2. East China Sea Fisheries Research Institute Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090)

关键词: 高体革鲃; 盐度; 生长; 肉质

Key words: *Scortum barcoo*; Salinity; Growth; Flesh quality

中图分类号: S965.1 文献标识码: A 文章编号: 100-3207(2010)04-0880-05

盐度是水产养殖环境的重要理化因子, 与养殖动物的渗透压、生长、发育关系密切, 探索盐度对水产动物生长发育的影响, 可为充分利用内陆盐水域发展养殖提供可靠的理论依据^[1]。国内外有关盐度对鱼类生长、发育、代谢的研究早有报道^[1-5], 但关于盐度改善淡水鱼类肉质的研究较少, 仅见李小勤、刘贤敏等学者研究盐度对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[2]、奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[3]、长江口纹缟虾虎鱼(*Tridentiger trigronecephalus*)^[4]、乌鳢(*Channa argus*)^[5]、斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)^[5]生长和肉质影响报道。高体革鲃(*Scortum barcoo*)隶属鲈形目、鲷科、革鲃属, 是近几年我国从澳大利亚引进的淡水养殖新品种。有关高体革鲃的研究较少, 尚无盐度对其肉质影响方面的报道。本研究以高体革鲃为对象, 研究其不同盐度水体中盐化30d后的生长和肉质的变化, 以期探讨高体革鲃生理学和扩大高体革鲃养殖水域提供理论参考, 同时为鱼类肉质鉴定标准的形成提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼来源与驯养

实验鱼来自北京市水产科学研究所小汤山良种场, 平均体重(328.92±9.46)g, 体质健壮, 规格整齐。实验前在

温室暂养池内驯养15d, 养殖用水为天然温泉水(约40℃)和地下井水勾兑而成的, 清新无污染, 水温为(25±1)℃(池底“S”型供热管道控温), 盐度<0.5‰, pH 7.4, DO≥6mg/L。每天按鱼体重3%—4%于9:30(总量的30%)和17:00(总量的70%)各投饵(颗粒饲料)一次, 每次投喂以20min内无剩饵为准, 根据情况及时调整。饲料配方及营养指标(表1)。暂养后, 逐渐将盐度升至试验盐度(用广东金创兴生物公司销售的海水精调配盐度), 盐度用美国海洋研究所生产的盐度计(Aquatic Eco-Systems-Salinity Meter), 在试验条件下稳定2d后开始正式试验。

1.2 实验设计

随机取高体革鲃120尾移入12个实验池(3.0 m×1.8 m×1.2 m), 每池10尾。实验前测量鱼体重, 经预实验高体革鲃在盐度2.7‰水中5d成活率60%, 故实验设置盐度为0(对照组, 普通淡水, 下同)、0.8‰、1.5‰、2.3‰的4个处理组, 每组设3个重复, 饲养条件与驯养时相同, 每3天换去水体总容积的1/2, 补充等量等盐度水体。实验进行30d(2008.4.1至5.1)。实验结束统计鱼的数量并在饥饿24h后测定鱼体重, 每池取3尾鱼, 取背部肌肉测定肌肉品质, 每份样品重复测定两次。

1.3 测定项目及方法

生长性能 选用成活率、增重率、饲料系数作为主

收稿日期: 2009-04-30; 修订日期: 2010-01-12

基金项目: 北京市科技计划项目(编号: Z080005032508019, Z080005032508019); 北京市农林科学院所级优秀科技创新团队培养基金资助

通讯作者: 梁拥军(1969—), 男, 汉族, 河北行唐人; 硕士, 高级工程师; 主要从事水产动物育种和养殖技术研究。E-mail: sdj19850104@yahoo.com.cn

表 1 试验用饵料成分及营养组成

Tab. 1 Composition and nutrient contents in complete formula diets of *Scortum barcoo* (% dry weight)

原料 Ingredients	比例 Percentage
大豆粕 Soybean meal	21
菜籽粕 Rape seed meal	20
蚕蛹 Silkworm chrysalis	30
鱼粉 Fish meal	10
大麦 Barley	10
食盐 Salt	0.5
复合维生素 ¹ Complex vitamins	3.8
复合矿物盐 ² Complex minerals	2.7
二水磷酸氢钙 Dicalcium phosphate dihydrate	2
总计 Total	100
营养指标 Nutrients composition	含量 Content
粗蛋白 Crude protein	38.7
粗脂肪 Ether extracts	8.6
粗灰分 Crude ash	5.1
粗纤维 Crude fibre	6.5

注: 1. 复合维生素(mg/kg 或 g/kg 饲料): 维生素 A, 0.0032 g; 维生素 D, 0.076 mg; 维生素 E, 2.6 g; 维生素 K, 0.16 g; 维生素 B₁, 0.10 g; 维生素 B₂, 0.20 g; 维生素 B₆, 0.16 g; 维生素 C, 18.5 g; 叶酸, 0.2 g; 肌醇, 1.56 g; 氯化胆碱, 13.6 g; 烟酰胺, 0.54 g; 泛酸钙, 0.3 g; 2. 复合矿物盐(g/kg 饲料): 氯化钾, 1.20; 硫酸镁, 4.0; 硫酸锌, 0.20; 硫酸铜, 0.02; 碘化钾, 0.003; 氯化钴, 0.002; 硫酸锰, 0.04; 柠檬酸铁, 20.6; 羧甲基纤维素钠, 1

Note: 1. Vitamin premix(mg or g/kg diet): V_A, 0.0032 g; V_D, 0.076 mg; V_E, 2.6 g; V_K, 0.16 g; V_{B1}, 0.10 g; V_{B2}, 0.20 g; V_{B6}, 0.16 g; V_C, 18.5 g; Folic acid, 0.2 g; inositol, 1.56 g; Choline chloride, 13.6 g; Nicotina mide, 0.54 g; Calcium pantothenate, 0.3 g; 2. Mineral premix(g/kg diet): KCl, 1.20; MgSO₄, 4.0; ZnSO₄, 0.20; CuSO₄, 0.02; KI, 0.003; CoCl₂, 0.002; MnSO₄, 0.04; citric acid iron, 20.6; Na-CMC, 1

要生长性能指标。

成活率(%)=实验末鱼尾数/实验初鱼尾数×100%;

增重率(%)=(终末体重-初始体重)/初始体重×100%;

饲料系数=总投喂量/(终末体重-初始体重+死鱼重量)。

肌肉品质分析 选择粗蛋白、粗脂肪、水分、灰分、

羟脯氨酸、胶原蛋白、肌原纤维耐折力和肌肉失水率作为分析指标。粗蛋白采用凯式定氮法(总氮×6.25)测定; 粗脂肪采用索式提取法(乙醚为抽提液)测定; 水分采用 105℃ 烘干法测定; 灰分采用 550℃ 灼烧法测定。

羟脯氨酸测定 参照 Bergman, *et al.*^[6]和曾勇庆等^[7]分光光度法。称取 4 g 高体革鲃背部肌肉, 加 35 mL 浓硫酸置 105℃ 烘箱 16h, 过滤定容至 250 mL。取 4 mL 该溶液, 加 2.00 mL 氯氨 T, 20min 后加显色剂显色、保温并冷却置室温, 于(558±2) nm 处测量吸光度, 绘制标准曲线, 计算羟脯氨酸含量。胶原蛋白含量由羟脯氨酸含量推算^[8], 胶原蛋白含量=羟脯氨酸含量×100/11×100%。

肌原纤维耐折力测定 参照任泽林等^[9]的方法。称取背部肌肉 1 g, 加入 200 mL A 液(KCl 14.90 g, EDTA-2Na 3.44 g, 硼酸 4.78 g, 用蒸馏水溶至 2 L, pH=7.0)匀浆 15s(12000 r/min), 取样于 400 倍显微镜下观察并测定肌原纤维长度, 根据肌原纤维长度判定肌肉耐折断力强弱, 胶原纤维越长, 耐折断力越强。计算公式: $L=10 \times \sum Li / A \times B \times n$, 其中 $L(\text{mm})$ 为肌原纤维平均长度, $\sum Li(\text{mm})$ 为每次所测定肌原纤维长度和, A 为显微镜放大倍数, B 为扩印倍数($B=3.7$), n 为测定次数($n=30$)。

肌肉失水率 参考任泽林等^[9]的方法。取背部肌肉 50 g, 沸水煮 5min, 捞出冷却, 吸去肌肉表面的水分, 称重, 计算失水率。失水率(%)=100%×始末肌肉重量差/初始肌肉重量。重复 3 次。

1.4 数据处理

采用 spss13.0 统计软件进行单因子方差分析, 用多重比较法进行组间差异显著性分析, 显著水平为 0.05, 极显著水平为 0.01。

2 结 果

2.1 成活率、增重率、饲料系数

经过 30d 盐化实验, 高体革鲃生长情况(表 2)。由表 2 可见, 与对照组相比, 0.8%盐度组高体革鲃增重率提高了 45.6%($P<0.01$), 饲料系数极显著降低($P<0.01$), 且对高体革鲃的成活率无显著影响($P>0.05$); 1.5%盐度组高体革鲃成活率、饵料系数均极显著下降($P<0.01$), 仅为对照组

表 2 盐化对高体革鲃生长性能的影响

Tab. 2 Effect of salinity on growth performance of *Scortum barcoo*

组别 Groups	0 Control	0.8% salinity group	1.5% salinity group	2.3% salinity group
初重 Initial weight (g)	330.27±4.73	329.87±5.15	328.23±4.47	326.00±3.76
末重 Final weight (g)	380.83±5.02	402.57±7.69	389.87±4.37	364.63±6.77
增重率 Growth rate (%)	15.32±1.10 ^A	22.30±2.46 ^B	18.79±1.49 ^C	11.86±2.17 ^D
饲料系数 FCR	1.84±0.11 ^a	1.46±0.09 ^b	1.48±0.12 ^b	3.34±0.07 ^c
成活率 Survival rate (%)	100.0±0.0 ^a	100.0±0.0 ^a	86.6±5.7 ^b	70.0±9.4 ^c

注: 同一行中, 大写字母不同表示极显著差异($P<0.01$), 小写字母不同表示显著差异($P<0.05$);下同

Note: With the same row , values with different superscripts in big character are very significantly different ($P<0.01$), values with different superscripts in little character are significantly different ($P<0.05$); the same below

的 86.7%、81.3%，鱼体增重率显著提高($P<0.01$)，饵料系数与 0.8%盐度组相比无显著差异($P>0.05$)；在盐度为 2.3%时，高体革鲃增重率、成活率显著降低，仅为对照组的 77.4%、70%，饵料系数则极显著增加($P<0.01$)。

2.2 肌肉品质

在 30d 不同盐度饲养条件下，各组高体革鲃的肌肉成分和物理性状(表 3)。从表 3 中可看出，与对照组相比，0.8%和 1.5%盐度组肌肉粗脂肪、水分、灰分无显著变化($P>0.05$)，而粗蛋白含量极显著增加($P<0.01$)；2.3%盐度组肌肉粗蛋白、粗脂肪含量分别较对照组降低了 21.13%、17.12%($P<0.05$)，粗蛋白、水分显著提高($P<0.05$)。各盐度实验组肌肉中胶原蛋白和羟脯氨酸含量，与对照组相比均极显著提高($P<0.01$)，且随着盐度的增加，两者均呈现上升的趋势。

在肌肉物理性状方面，与对照组相比，盐度为 0.8%、1.5%、2.3%的实验组肌纤维长度呈现增加的趋势($P<0.01$)，而肌纤维直径、肌肉失水率均呈现减小的趋势($P<0.01$)；0.8%盐度组与 1.5%盐度组相比，肌纤维长度、肌肉失水率无显著差异($P>0.05$)，而在肌纤维直径方面 1.5%盐度组显著变小($P<0.01$)。

3 讨论

3.1 盐化对高体革鲃生长性能的影响

目前，有关鱼类生长性能受盐度影响的已有很多报道，一般认为适宜的盐度对鱼类的生长具有促进作用^[10]，而在高体革鲃方面研究较少。对鲤(*Cyprinus carpio*)^[11]的研究表明，盐度(0.3、1.5 和 3)可以显著提高仔鱼的生长和发育；李小勤等^[2]研究了盐度对草鱼生长的影响，发现 725 g 左右的草鱼在盐度 5.0 饲养 30 d 后，增重率最高 28.3%，成活率 100%，但在盐度 0、7.5、10.0 时，增重率、成活率显著下降，饵料系数显著上升；从与高体革鲃同属

热水性鱼类的罗非鱼来看，Likongwe, *et al.*^[12]的研究表明，盐度和水温对尼罗罗非鱼生长有协同作用，最高和最低分别出现在盐度 8 和 16；冯是良等^[13]考察了盐度对 29 - 40 g 高体革鲃生长性能的影响，发现 1.0%盐度组特定生长率最高，存活率最高，饵料系数最低。在本实验中，随水体盐度的升高(0、0.8%、1.5%、2.3%)，高体革鲃的成活率呈下降趋势，增重率和饵料系数出现极显著差异。盐度 0.8%时，增重率最高(22.30%)，饵料系数最低(1.46)；盐度 2.3 时，增重率最低(11.86%)，饵料系数最高(3.34)，成活率仅为 70%，且在养殖期间鱼体色发白，食欲也较其他实验组差。这与冯是良等^[13]报道不完全一致，可能与鱼所处的生长阶段有关，具体原因还有待对高体革鲃各生长阶段生理情况做进一步研究。可以认为，盐度 2.3%对高体革鲃的存活构成了一定程度的威胁。实验表明，高体革鲃各生长性能的参数随盐度的变化趋势与草鱼有些相似，但对盐度的适应范围较鲤鱼^[11]、草鱼^[2,14,15]广，且在适宜的范围内(0.8%左右)，盐度可极显著提高增重率，降低饵料系数，且对成活率无不良影响，此研究为低盐水养殖高体革鲃改善肉质提供了理论依据。

3.2 盐度对高体革鲃肌肉品质的影响

刘贤敏等^[3]在不同盐度(0、7.5、10、12.5)水体中养殖奥尼罗非鱼 30d，结果发现各盐度组鱼体肌肉的水分、粗脂肪和灰分均无显著差异($P>0.1$)，但各盐度组粗蛋白含量较对照组都有不同程度的增加，本实验 0、0.8%、1.5%盐度组实验结果与上述报道一致。但也有研究者发现，随着盐度的升高，鱼体肌肉水分呈增加趋势，而灰分、脂肪含量则呈下降趋势，且在一定盐度范围内，肌肉蛋白含量基本一致，如草鱼^[2]、乌鳢^[3]等。

对于肌肉品质的鉴定，在畜禽类动物已有完善的体系^[16-18]，而针对鱼类肌肉则无统一标准^[19,20]，本实验依据罗非鱼(*Tilapia*)^[21]、草鱼^[2,21,22]、乌鳢^[5]、斑点叉尾鲷^[5]、

表 3 盐化对高体革鲃肌肉成分和物理性状的影响(鲜重中含量)
Tab. 3 Effect of salinity on muscle composition and physical index of *Scortum barcoo* (in fresh weight)

组别 Groups	0 Control	0.8% 0.8% salinity group	1.5% 1.5% salinity group	2.3% 2.3% salinity group
粗蛋白 Crude protein (% fresh weight)	19.31±0.45 ^a	21.07±0.83 ^b	21.78±0.42 ^b	15.23±0.31 ^c
粗脂肪 Ether extracts (% fresh weight)	5.39±0.58 ^a	5.25±0.71 ^a	5.01±0.48 ^a	4.15±0.93 ^b
水分 Moisture (%)	72.55±0.79 ^a	71.24±0.53 ^a	71.12±0.42 ^a	77.37±0.54 ^b
灰分 Ash (% fresh weight)	2.67±0.83 ^a	2.13±0.75 ^a	2.05±0.77 ^a	2.38±0.52 ^a
羟脯氨酸 Hydroxyproline (mg/g)	0.325±0.014 ^a	0.440±0.015 ^b	0.435±0.021 ^b	0.522±0.020 ^c
胶原蛋白 Collagen (mg/g)	2.957±0.131 ^a	4.002±0.139 ^b	4.003±0.144 ^b	4.744±0.182 ^c
肌原纤维长度 Myofibril length (μm)	125.77±1.55 ^a	144.17±1.00 ^b	144.96±2.29 ^b	167.26±2.00 ^c
肌纤维直径 Muscle fiber diameter (μm)	126.76±1.54 ^A	105.46±1.99 ^B	85.08±0.56 ^C	78.08±1.14 ^D
肌肉失水率 Water loss rate (%)	23.15±1.71 ^a	17.84±0.45 ^b	17.93±0.30 ^b	12.39±0.44 ^c

狼鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[23]、中国对虾(*Penaeus chinensis*)^[9]等肉质评价方法,选择胶原蛋白、羟脯氨酸、肌原纤维耐折力和肌肉失水率作为分析指标。在本实验中0.8%、1.5%和2.3%盐度均显著增加了高体革鲈肌肉胶原蛋白和羟脯氨酸的含量($P<0.05$),这与草鱼的研究一致。而李小勤等^[4]对乌鳢的研究,发现盐度10.0较盐度7.5组显著下降,并表示盐度10.0对乌鳢胶原蛋白的影响趋势与草鱼相反。对于本实验是否在高于2.3%的盐度水平时,也存在胶原蛋白下降的趋势,还有待进一步的研究。在草鱼^[2]研究中,随着盐度的增加(0、5.0、7.5、10.0),肌原纤维耐折力提高,肌原纤维直径减小,本次研究结果与上述报道一致,而与该实验室对乌鳢的报道不完全一致。

任泽林等^[9]在中国对虾的研究发现,肌原纤维耐折力、肌肉失水率与肌肉内胶原蛋白含量均呈线性关系。李小勤等^[2]在草鱼的研究中发现,肌原纤维耐折力与胶原蛋白呈正相关,而肌肉失水率随盐度的增加呈现波动的特点,与胶原蛋白无线性关系。在本实验中,肌原纤维耐折力与胶原蛋白含量存在线性关系,回归方程是: $y=21.776+2.134x$ ($R^2=0.912$);肌肉失水率与胶原蛋白含量也存在线性关系,其回归方程是: $y=0.572-5.706x$ ($R^2=0.909$),研究结果与任泽林等报道一致,与李小勤等不完全一致。可见,高体革鲈肌肉失水率与肌肉内胶原蛋白含量有密切的关系,但其作用机理还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] Chen K C, Zhu X P, Du H J, *et al.* Effects of temperature and salinity on the embryonic development of Jade perch *Scortum barcoo* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, **14**(6):1032—1037 [陈昆慈, 朱新平, 杜合军, 等. 温度和盐度对宝石鲈胚胎发育的影响. 中国水产科学, 2007, **14**(6): 1032—1037]
- [2] Li X Q, Li X X, Leng X J, *et al.* Effect of different salinities on growth and flesh quality of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *J. Fish. China*, 2007, **31**(2): 442—447 [李小勤, 李星星, 冷向军, 等. 盐度对草鱼生长和肌肉品质的影响. 水产学报, 2007, **31**(2): 442—447]
- [3] Li X M, Li X X, Leng X J, *et al.* Comparative study on effect of salinities on growth and body composition of *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* and *Channa argus* [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, **17**(2): 242—246 [刘贤敏, 李星星, 冷向军, 等. 盐度对奥尼罗非鱼和乌鳢生长及肌肉成分影响的比较研究. 上海水产大学学报, 2008, **17**(2): 242—246]
- [4] Feng G P, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Embryonic and Pre-larval development of *Tridentiger trigonocephalus* and adaptability to salinity [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, **33**(2): 170—176 [冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口纹缟虾虎鱼胚胎发育及早期仔鱼生长与盐度的关系. 水生生物学报, 2009, **33**(2): 170—176]
- [5] Liu X M. Effect of different salinities on growth and flesh quality of *Channa argus* and *Ictalurus Punetaus* [D]. Master degree paper, Shanghai Fisheries University, Shanghai. 2007 [刘贤敏. 盐度对乌鳢和斑点叉尾鲷生长、肉质的影响. 硕士学位论文, 上海水产大学, 上海. 2007]
- [6] Bergman I. and Loxley R. Two improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hydroxyproline [J]. *Anal. chem*, 1963, **35**: 1961—1965
- [7] Zeng Y Q, Wang H. The spectrophotometric determination of hydroxyproline in pig muscle [J]. *Journal of Shandong Agricultural University*, 2000, **31**(1): 79—81 [曾勇庆, 王惠. 猪肉中羟脯氨酸的分光光度法测定. 山东农业大学学报, 2000, **31**(1): 79—81]
- [8] GB9695.23-1990. Meat and meat products-Method for determination of L (—)-hydroxyprolin content [S]. China State Bureau of Technical Supervision, 1990 [GB9695.23-1990.肉与肉制品 L(—)-羟脯氨酸测定方法. 国家技术监督局, 1990]
- [9] Ren Z L, Li A J. Influence of dietary composition on the collagen content, the myofibrillae and the water loss in muscle tissue of prawn [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1998, **5**(2): 40—44 [任泽林, 李爱杰. 饲料组成对中国对虾肌肉组织中胶原蛋白、肌原纤维和失水率的影响. 中国水产科学, 1998, **5**(2): 40—44]
- [10] Boeuf G, Payan P. How should salinity influence fish growth [J]. *Comp Biochem Physiol C*, 2001, **130**: 411—423
- [11] Lam T J, Sharma R. Effects of salinity and thyroxine on larval survival, growth and development in the carp, *Cyprinus carpio* [J]. *Aquaculture*, 1985, **44**: 201—212
- [12] Likongwe J S, Stecko T D, Stauffer J R, *et al.* Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) [J]. *Aquaculture*, 1996, **146**: 37—46
- [13] Feng S L, Luo G Z, Tan H X, *et al.* Study on different salinities on growth of Jade perch *Scortum barcoo* [J]. *Reservoir Fisheries*, 2006, **26**(5): 29—31 [冯是良, 罗国芝, 谭洪新, 等. 不同盐度下宝石鲈生长性能的研究. 水利渔业, 2006, **26**(5): 29—31]
- [14] Kilambi R.V. Food consumption, growth, and survival of grass carp *Ctenopharyngodon idellus* Val at four salinities [J]. *J Fish Biol*, 1980, **17**: 613—618
- [15] Maceina M.J, Nordlie F.G, Shireman J.V. The influence of salinity on oxygen consumption and plasma electrolytes in grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* Val [J]. *J Fish Bio*, 1980, **16**: 613—619
- [16] Manu-Tawiah W, Ammann L L, Sebranek J G., *et al.* Extending the color stability and shelf life of fresh meat [J]. *Food Technol*

- ogy, 1991, **45**(3): 94—102
- [17] Siragusa G. R. Dorse W.J, Cutter C N, *et al.* Use of a newly developed rapid microbial ATP bioluminescence assay to detect microbial contamination on poultry carcasses [J]. *J. Biolumin. Chemilumin.*, 1996, **11**: 297—301
- [18] Davidson C A, Griffith C, Peters A C, *et al.* Evaluation of two methods for monitoring surface cleanliness-ATP bioluminescence and traditional hygiene swabbing [J]. *Luminescence*, 1999, **14**(1): 33—38
- [19] Dunajski, E. Texture of fish muscle [J]. *J Texture Studies*, 1979, **10**: 301—318
- [20] Hatae K, Yoshimatsu F, and Matsumoto J J. Role of muscle fibres in contributing firmness of cooked fish [J]. *J Food Sci.*, 1990, **55**: 693—696
- [21] Li X X. A study of feeding Tilapia and grass carp in brackish water to improve meat quality [D]. Master degree paper, Shanghai Fisheries University, Shanghai. 2006 [李星星. 半咸水暂养罗非鱼、草鱼改善其肉质的研究. 硕士学位论文, 上海水产大学, 上海. 2006]
- [22] Leng X J, Meng X L, Li J L, *et al.* Effect of Du-zhong (*Eucommia ulmoides* Oliver) leaf on growth, serum non-specific immune index and meat quality of grass carp [J]. *J. Fish. China*, 2008, **32**(3): 434—440 [冷向军, 孟晓琳, 李家乐, 等. 杜仲对草鱼生长、血清非特异性免疫指标和肉质影响的初步研究. 水产学报, 2008, **32**(3): 434—440]
- [23] Periago M J, Ayala M D, Lopez-Albors, *et al.* Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L [J]. *Aquaculture*, 2005, **249**: 175—188