

野生与养殖草鱼肌肉营养成分比较分析

程汉良¹, 蒋 飞¹, 彭永兴¹, 许星鸿¹, 董志国¹, 许 祥¹, 过正乾¹, 孙加赋², 王假真², 吴光圣²
(1.淮海工学院海洋学院, 江苏 连云港 222005; 2.扬州高邮湖生态渔业有限公司, 江苏 高邮 225600)

摘 要: 对野生和养殖草鱼肌肉常规营养成分、氨基酸含量和脂肪酸组成进行测定和分析比较。常规营养成分测定结果表明: 野生草鱼肌肉中粗蛋白含量显著高于养殖草鱼($P < 0.01$), 水分和粗脂肪含量显著低于养殖草鱼($P < 0.05$)。氨基酸含量测定结果表明: 野生草鱼氨基酸总量和必需氨基酸总量显著高于养殖草鱼($P < 0.05$), 必需氨基酸指数(67.4)高于养殖草鱼(66.1), 而鲜味氨基酸总量差异不显著。脂肪酸组成测定结果表明: 野生和养殖草鱼肌肉中均含有丰富的不饱和脂肪酸(UFA), 分别占脂肪酸总量的89.45%和96.70%, 但野生和养殖草鱼肌肉脂肪酸组成有很大差异, 野生草鱼肌肉中饱和脂肪酸(SFA)总量显著高于养殖草鱼($P < 0.01$); 而单不饱和脂肪酸(MUFA)总量显著低于养殖草鱼($P < 0.01$); 多不饱和脂肪酸(PUFA)总量二者差异不显著, 但 $n-3$ 和 $n-6$ 族多不饱和脂肪酸组成不同, 野生草鱼 $n-3$ 族多不饱和脂肪酸总量显著高于养殖草鱼($P < 0.01$), 而 $n-6$ 族多不饱和脂肪酸则显著低于养殖草鱼($P < 0.05$), 表明草鱼饲料配方中 $n-3$ 族多不饱和脂肪酸的添加量可能不足。

关键词: 草鱼; 肌肉; 营养成分; 脂肪酸; 氨基酸

Comparison of Nutrient Composition of Muscles of Wild and Farmed Grass Carp, *Ctenopharyngodon idellus*

CHENG Han-liang¹, JIANG Fei¹, PENG Yong-xing¹, XU Xing-hong¹, DONG Zhi-guo¹, XU Xiang¹, GUO Zheng-qian¹,
SUN Jia-fu², WANG Jia-zhen², WU Guang-sheng²

(1. College of Marine Science, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China;

2. Yangzhou Gaoyou Lake Ecological Fishery Corporation, Gaoyou 225600, China)

Abstract: The nutrient composition of muscles of wild and farmed grass carp were analyzed by generic methods. The results showed that the content of crude protein in muscle of wild grass carp was significantly higher than that of farmed grass carp ($P < 0.01$) while the contents of crude fat and moisture in muscle of wild grass carp were significantly lower than those of farmed grass carp ($P < 0.05$). A total of 18 amino acids was detected in muscles of grass carp, and the contents of total amino acids and essential amino acids in muscle of wild grass carp were significantly higher than those of farmed grass carp ($P < 0.05$). The essential amino index (EAAI) of wild grass carp (67.4) was higher than that of farmed grass carp (66.1) whereas no significant difference was observed in the total content of delicious amino acids between wild and farmed grass carp. The total contents of unsaturated fatty acids (UFA) in muscles of wild and farmed grass carp were 89.45% and 96.70%, respectively, which were higher than those of saturated fatty acids (SFA). However, there were significant differences in fatty acids composition of muscles between wild and farmed grass carp. The total content of SFA in muscle of wild grass carp was significantly higher than that of farmed grass carp ($P < 0.01$) while the total content of monounsaturated fatty acids (MUFA) was significantly lower than that of farmed grass carp ($P < 0.01$). No significant difference was found in the total content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) between wild and farmed grass carp. The total content of $n-3$ PUFA in muscle of wild grass carp, however, was significantly higher than that of farmed grass carp ($P < 0.01$). The total content of $n-6$ PUFA in muscle of wild grass carp was significantly lower than that of farmed grass carp ($P < 0.05$). These results demonstrated insufficient addition of $n-3$ PUFA in the diet of grass carp. In summary, the muscle of wild grass carp showed higher nutritional value than that of farmed grass carp.

Key words: *Ctenopharyngodon idellus*; muscle; nutrient composition; amino acids; fatty acids

中图分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)13-0266-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201313056

收稿日期: 2012-05-09

基金项目: 江苏省高校自然科学研究重大项目(10KJA240002); 教育部特色专业建设点专项资金项目(TS11446)

作者简介: 程汉良(1964—), 男, 教授, 博士, 主要从事水生动物营养与遗传研究。E-mail: CHL3139@163.com

草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)是我国重要养殖鱼类。据农业部渔业局统计,2010年我国草鱼养殖产量达 4.22×10^6 t,占淡水鱼养殖产量的20.45%,列第1位^[1]。草鱼属典型的草食性鱼类,因其生长迅速,饲料来源广,成为我国优良养殖对象,并被移植到亚、欧、美、非各洲的许多国家^[2]。草鱼肉质肥嫩,味鲜美,深受消费者喜爱,经济价值较高。目前,对草鱼的研究已涉及到健康养殖、病害防治和营养饲料等多个方面^[3-6]。近几年,随着草鱼营养研究的深入,配合饲料在草鱼人工养殖中得到广泛应用,与传统养殖方式相比,草鱼生长速度更快,生长周期缩短,但养殖草鱼与野生草鱼在肉质和营养价值等方面是否存在差异,以及这种差异是否可以通过改进饲料配方或环境条件得以消除还有待进一步研究。毕香梅等^[7]对摄食青草和人工配合饲料的草鱼肌肉氨基酸含量进行了研究,结果表明摄食青草的草鱼肌肉必需氨基酸总量及鲜味氨基酸总量高于摄食人工配合饲料的草鱼;李小勤等^[8]研究了盐度对草鱼肉质的影响,结果表明7.5‰盐度暂养草鱼可降低肌肉中脂肪含量,改善肌肉品质。此外,还对野生与人工养殖的刀鲚(*Coilia nasus*)^[9]、中华鲟(*Acipenser sinensis*)^[10]、哲罗鱼(*Hucho taimen*)^[11]、鸭绿江斑鲌(*Siniperca schezeri*)^[12]、欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[13]、黄金鲈(*Perca flavescens*)^[14]等多种鱼类肌肉营养成分差异进行了研究。但关于野生与养殖草鱼肌肉氨基酸含量和脂肪酸组成的差异尚未见报道。

本研究采用生化分析方法,对野生与养殖草鱼肌肉常规营养成分、氨基酸含量和脂肪酸组成进行比较分析,旨在评价野生与养殖草鱼肌肉营养成分的异同,为草鱼饲料配方的改进提供基础资料和理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

野生草鱼于2011年5月16日采自江苏省高邮湖,养殖草鱼于2011年5月17日采自江苏省赣榆县罗阳镇的精养池塘,投喂商品配合饲料,各采集5尾,质量为 (2500.5 ± 208.2) g,每尾鱼作为一个样本。

1.2 试剂与仪器

氯仿(分析纯)、甲醇(色谱纯) 国药集团化学试剂有限公司;石油醚(分析纯)、苯(分析纯) 天津市福晨化学试剂厂。

CR22G高速冷冻离心机 日本Hitachi公司;GC-2014气相色谱仪、UDK132自动凯氏定氮仪 日本岛津公司;AC真空浓缩仪 上海拜力生物科技有限公司;25superES3真空冷冻干燥机 美国Virtis公司;SX2-4-10马福炉 上海博讯实业有限公司;SZC-C脂肪

测定仪 上海纤检仪器有限公司;LC98-1 AAA高效液相色谱仪 北京温分分析仪器技术开发有限公司。

1.3 样品处理

将采集的草鱼去鳞,解剖,用刀取其背部肌肉(侧线以上背鳍以下),用剪刀剪成肉糜状,采用真空冷冻干燥机进行干燥,并测定水分含量(冻干)。

1.4 常规营养成分的测定

参照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》、GB 5009.4—2010《食品中灰分的测定》、GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》、GB/T 5009.6—2010《食品中脂肪的测定》相关国家标准进行样品处理,并测定水分、粗灰分、粗蛋白、粗脂肪的含量。冷冻干燥样品105℃继续烘干测定水分含量。使用马福炉测定粗灰分含量;使用自动凯氏定氮仪测定粗蛋白含量;使用脂肪测定仪测定粗脂肪含量。

1.5 氨基酸的测定

参照GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测定》的方法进行样品处理,使用高效液相色谱仪测定鱼肉氨基酸组成;样品经酸(6mol/L HCl)水解时色氨酸遭破坏,无法检测,故样品需要经碱(5mol/L NaOH)水解后,同机单独测定色氨酸含量。

1.6 脂肪酸的测定

参照GB/T 9695.2—2008《肉与肉制品 脂肪酸测定》的方法进行样品处理,使用气相色谱仪按峰面积归一化法计算脂肪酸组成。

1.7 营养品质评价方法

根据2007年世界卫生组织(WHO)^[15]建议的成人必需氨基酸模式和2004年中国疾病预防控制中心营养与食品安全所^[16]提出的鸡蛋蛋白质的氨基酸模式,分别按以下公式计算氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS),以及必需氨基酸指数(EAAI)^[9]。

$$\text{AAS} = \frac{\text{样品氨基酸含量}/(\text{mg/g pro})}{\text{WHO成人同种氨基酸需要量}/(\text{mg/g pro})} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{CS} = \frac{\text{样品氨基酸含量}/(\text{mg/g pro})}{\text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量}/(\text{mg/g pro})} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{EAAI} = [(100\text{A}/\text{AE}) \times (100\text{B}/\text{BE}) \times \dots \times (100\text{H}/\text{HE})]^{1/n} \quad (3)$$

式中: n 为比较的必需氨基酸数目; A 、 B ... H 为草鱼肌肉蛋白质中必需氨基酸含量/(mg/g pro); AE 、 BE ... HE 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量/(mg/g pro)。

$$\text{氨基酸含量}/(\text{mg/g pro}) = \frac{\text{样品中某氨基酸含量}/(\text{mg}/100\text{g 湿样})}{\text{样品粗蛋白质含量}/(\text{g}/100\text{g 湿样})} \quad (4)$$

1.8 数据处理

使用Excel 2003进行数据的统计和处理分析,每组数据均使用 $\bar{x} \pm s$ 表示。应用函数AVERAGE(number1, number2,...)计算平均值;应用函数STDEV(number1,

由表3可知,野生和养殖草鱼必需氨基酸总量高于WHO建议的成人必需氨基酸需要量,但低于全鸡蛋蛋白质中必需氨基酸总量。根据氨基酸评分,野生和养殖草鱼的第一限制性氨基酸均是缬氨酸;根据化学评分,野生和草鱼第一限制性氨基酸均是色氨酸。野生和养殖草鱼必需氨基酸指数分别为67.4和66.1,野生草鱼略高于养殖草鱼。对中华鲟^[10]等鱼类氨基酸指数分析表明,野生群体氨基酸指数均显著大于养殖群体,与本研究结果一致。

2.4 脂肪酸组成

表4 野生与养殖草鱼肌肉中脂肪酸组成(n=5)
Table 4 Fatty acid composition of muscles of wild and farmed grass carp (n=5)

脂肪酸种类	野生草鱼	养殖草鱼	P值
饱和脂肪			
C _{14:0} (肉豆蔻酸)	1.15±0.26	0.99±0.39	0.693
C _{15:0} (十五碳酸)	0.65±0.16 ^a	0.20±0.02 ^b	0.035
C _{16:0} (棕榈酸)	0.34±0.04	0.10±0.07	0.055
C _{17:0} (十七碳酸)	1.50±0.34 ^a	0.37±0.03 ^b	0.027
C _{18:0} (硬脂酸)	0.18±0.13	0.21±0.01	0.703
C _{20:0} (花生酸)	0.60±0.17 ^a	0.22±0.06 ^b	0.032
C _{22:0} (山萘酸)	0.27±0.13	0.36±0.11	0.556
C _{24:0} (木焦油酸)	5.87±0.37 ^A	0.85±0.14 ^B	0.002
饱和脂肪酸总量ΣSFA	10.55±0.85 ^A	3.30±0.59 ^B	0.008
单不饱和			
C _{14:1n-5} (肉豆蔻油酸)	0.10±0.04	0.04±0.02	0.162
C _{15:1n-5} (十五碳一烯酸)	28.57±0.47 ^A	18.41±0.59 ^B	0.003
C _{16:1n-7} (棕榈油酸)	0.29±0.10	2.75±0.95	0.055
C _{17:1n-7} (十七碳一烯酸)	0.30±0.40	0.04±0.02	0.402
C _{18:1n-7} (反式油酸)	12.45±0.28 ^A	28.17±0.81 ^B	0.001
C _{18:1n-9} (油酸)	0.08±0.02 ^a	0.18±0.01 ^b	0.025
C _{20:1n-9} (二十碳一烯酸)	0.42±0.45	0.79±0.13	0.260
C _{22:1n-9} (芥子酸)	9.95±0.50 ^A	7.63±0.48 ^B	0.002
C _{24:1n-9} (鲨油酸)	2.18±0.17	4.20±0.90	0.082
单不饱和脂肪酸总量ΣMUFA	54.32±1.13 ^A	62.23±0.28 ^B	0.007
多不饱和			
C _{18:2n-6} (反式亚油酸)	0.08±0.02 ^A	0.15±0.02 ^B	0.003
C _{18:2n-6} (亚油酸)	18.00±0.57 ^A	23.84±0.91 ^B	0.012
C _{18:3n-6} (γ-亚麻酸)	0.21±0.13	1.64±0.82	0.103
C _{20:2n-6} (二十碳二烯酸)	1.18±0.04	1.03±0.22	0.414
C _{20:3n-6} (二十碳三烯酸)	0.23±0.02 ^A	0.03±0.00 ^B	0.001
C _{20:3n-3} (二十碳三烯酸)	0.09±0.04		
C _{20:4n-6} (花生四烯酸(ARA))	0.56±0.04 ^A	0.07±0.02 ^B	0.004
C _{22:2n-6} (二十二碳二烯酸)	0.22±0.10	0.10±0.03	0.236
C _{20:5n-3} (二十碳五烯酸(EPA))	0.27±0.08 ^a	0.05±0.02 ^b	0.045
C _{22:6n-3} (二十二碳六烯酸(DHA))	14.29±0.91 ^A	7.55±0.48 ^B	0.004
多不饱和脂肪酸总量ΣPUFA/%	35.12±0.89	34.47±0.41	0.470
不饱和脂肪酸(UFA)总量(ΣMUFA+ΣPUFA)/%	89.45±0.85 ^A	96.70±0.59 ^B	0.008
n-3族总量Σn-3 PUFA/%	14.65±0.81 ^A	7.60±0.50 ^B	0.003
n-6族总量Σn-6 PUFA/%	20.47±0.55 ^a	26.86±0.91 ^b	0.014
n-6/n-3	1.40±0.09 ^A	3.53±0.34 ^B	0.008

注:同行数据后上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

由表4可知,野生草鱼肌肉中共检测到27种脂肪酸,而养殖草鱼只检测到26种。在野生草鱼中,十五碳一烯酸(C_{15:1n-5})、亚油酸(C_{18:2n-6})、DHA(C_{22:6n-3})、油酸(C_{18:1n-9})

和芥子酸(C_{22:1n-9})是主要脂肪酸,分别占脂肪酸总量的28.57%、18.00%、14.29%、12.45%和9.95%;在养殖草鱼中,C_{18:1n-9}、C_{18:2n-6}、C_{15:1n-5}、C_{22:1n-9}和C_{22:6n-3}是主要脂肪酸,分别占脂肪酸总量的28.17%、23.84%、18.41%、7.63%和7.55%。

野生和养殖草鱼肌肉脂肪酸含量有很大差异,野生草鱼C_{15:0}、C_{17:0}、C_{20:0}、C_{24:0}、C_{15:1n-5}、C_{22:1n-9}、C_{20:3n-6}、C_{20:4n-6}、EPA和DHA显著高于养殖草鱼($P<0.05$),其中,C_{24:0}、C_{22:1n-9}、C_{20:3n-6}、C_{20:4n-6}和DHA差异极显著($P<0.01$);而C_{18:1n-9}、C_{18:1n-9c}、C_{18:2n-6c}和C_{18:2n-6c}显著低于养殖草鱼($P<0.05$),其中,C_{18:1n-9}和C_{18:2n-6c}差异极显著($P<0.01$)。

从脂肪酸组成上看,在单不饱和脂肪酸(MUFA)组成中,野生草鱼以C_{15:1n-5}为主,占脂肪酸总量的28.57%,其次为C_{18:1n-9},占12.45%;而养殖草鱼以C_{18:1n-9}为主,占脂肪酸总量的28.17%,其次为C_{15:1n-5},占18.41%;养殖草鱼单不饱和脂肪酸总量为62.23%,显著高于野生草鱼的54.32%($P<0.01$)。在多不饱和脂肪酸(PUFA)组成中,野生和养殖草鱼均以C_{18:2n-6}为主,分别占脂肪酸总量的18.00%和23.84%,其次是C_{22:6n-3}(DHA),分别占脂肪酸总量的14.29%和7.55%;野生和养殖草鱼多不饱和脂肪酸总量差异不显著($P>0.05$)。总体来说,野生和养殖草鱼肌肉中均含丰富的不饱和脂肪酸(UFA),分别占脂肪酸总量的89.45%和96.70%。在不饱和脂肪酸中,单不饱和脂肪酸占有较大比例,特别富含油酸和十五碳一烯酸。PUFA中富含亚油酸和DHA。许多研究表明,饲料中的脂肪酸组成和环境因素影响着鱼体脂肪酸的组成,受影响的脂肪酸以不饱和脂肪酸为主,对饱和脂肪酸的影响较小。随着饲料中n-3高度不饱和脂肪酸(n-3 HUFA)水平的提高,军曹鱼肌肉中C_{18:1n-9}的含量逐渐下降,而C_{22:6n-3}的水平相应升高^[18]。对凡纳滨对虾^[19]、银鲳^[20]、青石斑^[21]等的研究也证实,饲料中的脂肪酸组成显著影响养殖对象肌肉中的脂肪酸组成。本研究中野生草鱼C_{18:1n-9}的含量为12.45%,显著低于养殖草鱼的28.17%($P<0.01$),而DHA为14.29%,显著高于养殖草鱼的7.55%($P<0.01$),可能是由于饲料原因造成的。

野生与养殖草鱼肌肉中n-3和n-6族PUFA组成有很大差异,野生草鱼n-3族多不饱和脂肪酸总量显著高于养殖草鱼($P<0.01$),而n-6族多不饱和脂肪酸则显著低于养殖草鱼($P<0.05$),说明养殖草鱼饲料配方中n-3族多不饱和脂肪酸的添加量可能不足。对鱼类的研究表明,海水鱼和淡水鱼对日粮中必需脂肪酸的需求不同,淡水鱼主要需要n-6系列的高不饱和脂肪酸,而海水鱼则需要n-3系列的高不饱和脂肪酸^[22]。虽然淡水鱼似乎具有合成n-3多不饱和脂肪酸的能力,但在配制草鱼饲料时,适量添加富含C_{20:5n-3}和C_{22:6n-3}的鱼油,可以提高养殖草鱼肌肉中n-3族多不饱和脂肪酸含量,从而改善草鱼肉质和营养价值。

3 结 论

采用生化分析方法对野生和养殖草鱼肌肉的常规营养成分、氨基酸含量、脂肪酸组成等进行了测定,结果表明:野生草鱼肌肉中粗蛋白质的含量显著高于养殖群体($P<0.01$),而水分和粗脂肪含量显著低于养殖群体($P<0.05$)。野生草鱼肌肉中氨基酸总量和必需氨基酸总量显著高于养殖群体($P<0.05$),必需氨基酸指数(67.4)高于养殖草鱼(66.1),但鲜味氨基酸总量相差不大。野生和养殖草鱼肌肉中均含有丰富的UFA,分别占脂肪酸总量的89.45%和96.70%, $n-3$ 和 $n-6$ 族多不饱和脂肪酸组成有很大差异,野生草鱼 $n-3$ 族多不饱和脂肪酸总量显著高于养殖草鱼($P<0.01$),而 $n-6$ 族多不饱和脂肪酸则显著低于养殖草鱼($P<0.05$),表明草鱼饲料配方中 $n-3$ 族多不饱和脂肪酸的添加量可能不足。

随着我国经济的迅猛发展,人民生活水平的不断提高,人们对于水产品质量的要求越来越高。本研究通过对野生和养殖草鱼肌肉营养成分的比较分析,可以为养殖草鱼饲料配方的改进提供基础资料和理论依据,从而提高养殖产品的营养价值,更好地满足人们的营养需求。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国农业部编. 2010中国农业统计资料[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 90.
- [2] 陈少莲, 刘肖芳, 胡传林, 等. 我国淡水优质草食性鱼类的营养和能量研究[J]. 海洋与湖沼, 2008, 23(2): 193-204.
- [3] 李卫芬, 邓斌, 陈南南, 等. 芽孢杆菌对草鱼生长和肠黏膜抗氧化功能及养殖水质的影响[J]. 水生态学杂志, 2012, 33(1): 65-70.
- [4] 刘林, 徐诗英, 李婧慧, 等. 草鱼出血病病毒VP6蛋白的原核表达、纯化及免疫效果[J]. 水产学报, 2012, 36(3): 429-435.
- [5] 罗运仙, 谢骏, 吕利群, 等. 饲料中补充晶体或微囊赖氨酸对草鱼生长和血浆总游离氨基酸的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 466-473.
- [6] 叶元土, 林仕梅, 罗莉. 草鱼对27种饲料原料中氨基酸的表观消化率[J]. 中国水产科学, 2003, 10(1): 60-64.
- [7] 毕香梅, 郁二蒙, 王广军, 等. 摄食青草和人工配合饲料的草鱼肌肉营养成分分析与比较[J]. 广东农业科学, 2011(1): 132-134.
- [8] 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[J]. 水产学报, 2007, 31(3): 343-348.
- [9] 唐雪, 徐钢春, 徐跑, 等. 野生与养殖刀鲚肌肉营养成分的比较分析[J]. 动物营养学报, 2011, 23(3): 514-520.
- [10] 宋超, 庄平, 章龙珍, 等. 野生与养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的比较[J]. 动物学报, 2007, 53(3): 502-510.
- [11] 姜作发, 刘永, 李永发, 等. 野生、人工养殖哲罗鱼生化成分分析和营养品质评价[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(4): 34-36.
- [12] 杨培民, 赵晓临, 夏大明, 等. 野生与人工养殖鸭绿江斑鳊肌肉营养成分及品质评价[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(1): 142-146.
- [13] FUENTES A, FERNÁNDEZ-SEGOVIA I, SERRA J A, et al. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality[J]. Food Chemistry, 2010, 119: 1514-1518.
- [14] GONZALEZ S, FLICK G J, O'KEEFE S F, et al. Composition of farmed and wild yellow perch (*Perca flavescens*)[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19: 720-726.
- [15] WHO/FAO/UNU. Protein and amino acid requirements in human nutrition[R]//WHO Technical Report Series 935. World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2007: 150.
- [16] 杨月欣. 中国食物成分表2004(第二册)[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2005: 234-235.
- [17] 陈学豪, 林利民, 洪惠馨, 等. 野生与饲养赤点石斑鱼肌肉营养成分的比较研究[J]. 厦门水产学院学报, 1994, 16(1): 1-5.
- [18] 刘兴旺, 谭北平, 麦康森, 等. 饲料中不同水平 $n-3$ HUFA对军曹鱼生长及脂肪酸组成的影响[J]. 水生生物学报, 2007, 31(2): 190-195.
- [19] 刘德华, 曹俊明, 黄燕华, 等. 饲料中不同亚麻酸/亚油酸比对凡纳滨对虾幼虾生长性能和脂肪酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(5): 1413-1421.
- [20] 彭士明, 施兆鸿, 孙鹏, 等. 饲料组成对银鲳幼鱼生长率及肌肉氨基酸、脂肪酸组成的影响[J]. 海洋渔业, 2012, 34(1): 51-56.
- [21] 林永贺, 张云, 房伟平, 等. 投喂小杂鱼和人工配合饲料对青石斑鱼生长和肌肉营养成分的影响[J]. 饲料工业, 2010, 31(8): 37-40.
- [22] 黄峰, 侯永清, 周秋白, 等. 水生动物营养与饲料学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 46-55.