

文章编号: 1000-0615(2016)07-1050-10

DOI: 10.11964/jfc.20150709964

种青养鱼模式下的草鱼肌肉营养成分和品质特性

程辉辉¹, 谢从新¹, 李大鹏^{1*}, 肖业红², 田兴¹,
陈洁¹, 汤蓉¹, 亓成龙¹, 马玲巧¹

(1. 华中农业大学水产学院, 大宗淡水鱼产业技术体系华中区养殖岗位,
池塘健康养殖湖北省工程实验室,

淡水水产健康养殖湖北省协同创新中心,

农业部淡水生物繁育重点实验室, 湖北武汉 430070;

2. 洪湖市红仙喜水产养殖专业合作社, 湖北洪湖 433200)

摘要: 为探究种青养鱼养殖模式对草鱼肌肉营养成分和品质特性的影响, 随机选取以种青喂草为主养殖模式下养殖的草鱼(生态草鱼)和投喂人工配合饲料进行养殖的草鱼(饲料草鱼)各16尾, 测定其肌肉系水力和质构特性指标, 以及肌肉常规营养成分、矿物元素、氨基酸和脂肪酸含量。结果显示, 生态草鱼和饲料草鱼肝体比和空壳率无显著性差异; 生态草鱼肌肉系水力指标中滴水损失显著低于饲料草鱼, 冷冻渗出率不显著地低于饲料草鱼, 失水率不显著地高于饲料草鱼, pH值无显著性差异; 肌肉的硬度、弹性、凝聚性、胶黏性和回复性均无显著性差异; 生态草鱼粗脂肪含量显著低于饲料草鱼, 水分、灰分、粗蛋白含量均无显著性差异; 生态草鱼P和Fe含量均显著高于饲料草鱼, Mg、Mn和Cr含量均极显著高于饲料草鱼; 生态草鱼和饲料草鱼肌肉氨基酸组成基本一致, 均含有17种氨基酸, 其中人体必需氨基酸总量分别为6.85%和6.27%。生态草鱼必需氨基酸指数(EAAI)为76.07, 而饲料草鱼为77.29, 饲料草鱼略高于生态草鱼。生态草鱼和饲料草鱼肌肉均含19种脂肪酸, 其中棕榈酸、花生四烯酸(ARA)、亚油酸(LA)、油酸、二十二碳六烯酸(DHA)和硬脂酸含量较高, 为主要脂肪酸, 而花生五烯酸(EPA)+DHA含量分别为8.95%和10.70%, 且差异显著。研究表明, 生态草鱼和饲料草鱼在肌肉质构特性方面无显著性差异, 与饲料草鱼相比, 生态草鱼具有肌肉系水力强、低脂肪和矿物元素含量高的特点。

关键词: 草鱼; 肌肉; 系水力; 质构特性; 营养成分; 矿物元素; 氨基酸; 脂肪酸

中图分类号: S 964.3; S 965.112

文献标志码: A

草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)池塘养殖历史悠久, 其养殖模式因地域差异和生产方式的不同而表现多样。以投喂饲养方式为依据, 常见的草鱼池塘养殖模式有以种青喂草为主的种青养鱼养殖模式和投喂人工配合饲料的单一饲料养殖模式。在华中地区, 种青养鱼的养殖模式主要以黑麦草(*Lolium perenne*)、小米草(*Euphrasia pectinata*)和苏丹草(*Sorghum sudanense*)作为草鱼

饵料; 同时, 还有大多数的池塘精养模式在养殖全程单一投喂人工配合饲料进行草鱼养殖。随着人工配合饲料的大量使用, 草鱼池塘养殖产量得到大幅提升, 但随之也引起了草鱼肌肉品质的降低^[1]。随着国民生活水平的不断提高, 品质优异的水产品越来越受到消费者的亲睐。研究表明不同品种鱼类之间^[2]的肌肉营养成分存在差异。即使是同种鱼类, 如草鱼^[3]、刀鲚

收稿日期: 2015-07-12 修回日期: 2015-11-03

资助项目: 大宗淡水鱼产业技术体系建设专项(CARS-46-15); 中央高校基本科研业务费专项(2662015PY119)

通信作者: 李大鹏, E-mail: ldp@mail.hzau.edu.cn

(*Coilia nasus*)^[4]、鳊(*Elopichthys bambusa*)^[5]、花羔红点鲑(*Salvelinus malma*)^[6]、四鼻须鲤(*Cyprinus carpio*)^[7]、金头鲷(*Sparus aurata*)^[8]等,野生和养殖状态下的肌肉品质也各有优劣。而对大黄鱼(*Larimichthys crocea*)^[9]、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)^[10]、日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)^[11]、罗非鱼(*Oreochromis sp.*)^[12]等在不同养殖模式下肌肉品质的对比研究表明,不同养殖模式下养殖鱼类肌肉品质差异显著。

本研究以湖北洪湖地区种青养鱼模式下的池塘养殖草鱼为对象,研究了其肌肉营养成分和品质特性,并与人工配合饲料养殖的草鱼进行了对比分析,以探讨种青养鱼模式对草鱼肌肉营养品质的影响,为草鱼生态健康养殖模式提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

种青养鱼模式养殖的草鱼(生态草鱼),体质量(799.59±169.02)g,体长(35.13±2.32)cm;人工配合饲料饲养的草鱼(饲料草鱼),体质量(815.52±205.27)g,体长(36.01±3.32)cm,均来源于湖北洪湖红仙喜水产养殖专业合作社池塘养殖区,在华中农业大学水产学院教学实习基地循环水养殖试验系统养殖缸内暂养1周后进行采样,暂养期间不投喂任何饲料。生态草鱼和饲料草鱼体质量和体长均无显著性差异,均为2龄鱼,随机选取健康草鱼各16尾进行实验,采样时间为2015年4月2日。

1.2 实验方法

空壳率和肝体比测定 用洁净纱布将实验鱼体表面轻轻擦干,称取鱼体质量;解剖鱼体,分离完整内脏,用洁净纱布擦去血渍,称取内脏质量;完整分离肝脏,用洁净纱布擦去血渍,称取肝脏质量;空壳率、肝体比计算公式:

$$\text{空壳率}(\%) = (\text{鱼体质量} - \text{内脏质量}) / \text{鱼体质量} \times 100$$

$$\text{肝体比}(\%) = \text{肝脏质量} / \text{鱼体质量} \times 100$$

肌肉pH值测定 活体抽血后,剥离鱼皮,在侧线上方肌肉的侧面切口,将205型pH计(德国Testo公司)的玻璃探头完全插入肌肉中,测定并记录肌肉pH值,重复3次取平均值。

肌肉系水力测定 采集侧线上方肌肉,称取5g左右放入自封袋,置于4℃冰箱,24h后吸干表面水分称重,计算滴水损失;称取5g左右肌肉放入自封袋,置于-20℃冰箱,24h后解冻,吸干表面水分后称重,计算冷冻渗出率;称取5g左右肌肉,放入蒸锅中蒸煮5min,取出吸干表面水分后称重,计算失水率。

肌肉质构特性测定 参考马玲巧等^[13]的方法,采集侧线上方肌肉,切成1cm×1cm×1cm的小块。利用TA.XT.Plus型物性测试仪(英国Stable Micro Systems公司),使用平底柱形探头P/36R,对试样进行2次压缩即TPA测试。测试条件:测试前速率3mm/s,测试速率1mm/s,测试后速率2mm/s,压缩程度65%,停留间隔时间5s,负重探头类型为Auto-5g,数据收集率为200pps。样品TPA测试于室温下进行,每组5尾鱼,每尾取5个平行样品进行测定。

肌肉常规营养成分的测定 采集草鱼鱼体肌肉,水分含量采用直接干燥法^[14]测定,粗蛋白含量采用凯式定氮法^[15]测定,粗脂肪含量采用索氏抽提法^[16]测定,灰分含量采用马弗炉灼烧法^[17]测定。

肌肉矿物元素的测定 采集草鱼鱼体肌肉,进行干灰化法消解,制得试样消解液,定容后备用,同时做试剂空白^[18]。采用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)进行测定。共检测了5种元素,包括P和Mg 2种常量元素;Fe、Mn和Cr 3种微量元素。

肌肉氨基酸和脂肪酸的测定 采集侧线上方肌肉,参考戴阳军等^[5]的方法,使用安捷伦1100型液相色谱仪,按JY/T 019-1996《氨基酸分析方法通则》测定草鱼肌肉氨基酸组成及含量。使用美国Finnigan公司的Trace MS气相色谱质谱仪,按JY/T 003-1996《有机质谱分析方法通则》提供的方法测定脂肪酸组成及含量:样品加氢氧化钠-甲醇溶液30mL(0.5mol/L NaOH 10mL,甲醇20mL),在85℃的水浴中回流1.5h,用6mol/L HCl调至酸性,80℃左右水浴加热0.5h,倒入分液漏斗中,用正己烷萃取2次,用去离子水洗涤2次,加入无水硫酸钠干燥过夜,在80℃水浴中蒸去大部分溶剂,再在95℃水浴上除去残余溶剂,冷却后,加入2mL 30%三氯化硼乙醚络合物溶液,在80℃的水浴上回流0.5h,冷却后,加入2mL石油醚。取上层醚样1μL进行气

相色谱分析。气相色谱分析条件：采用PEG-20M石英毛细管分析柱；柱温 200 °C；进样器250 °C；分流比为1 : 100，按峰面积归一化法计算脂肪酸组成。色氨酸由于酸水解被破坏而未测得。

肌肉氨基酸营养价值评价 根据FAO/WHO 1973年建议的氨基酸评分标准模式^[19-20]和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式^[21]分别按以下公式计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)：

$$AAS = \frac{\text{实验样品氨基酸含量 (mg/gPro)}}{\text{FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量 (mg/gPro)}}$$

$$CS = \frac{\text{实验样品氨基酸含量 (mg/g Pro)}}{\text{全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量 (mg/g Pro)}}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100a}{ae} \times \frac{100b}{be} \times \dots \times \frac{100i}{ie}}$$

式中，n为比较的必需氨基酸个数，a、b、……、i为实验样品蛋白质的必需氨基酸含量(mg/g Pro)，ae、be、……、ie为全鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量(mg/g Pro)。

1.3 数据统计

使用SPSS 19.0软件独立样本t检验对数据进行分析，数据以平均值±标准差形式表示，P<0.05为差异显著，P<0.01为差异极显著。

2 结果

2.1 肌肉物理和质构特性的测定结果

生态草鱼和饲料草鱼的肝体比和空壳率均无显著性差异(P>0.05)(表1)。生态草鱼与饲料草鱼的肌肉pH值无显著性差异(P>0.05)。生态草鱼的肌肉滴水损失率显著低于饲料草鱼(P<0.05)，而冷冻渗出率和失水率则均无显著性差异(P>0.05)(表2)。生态草鱼肌肉的硬度、弹性、凝聚性、胶黏性和回复性与饲料草鱼均无显著性差异(P>0.05)(表3)。

表 1 草鱼肝体比和空壳率对比

Tab. 1 The comparison of hepatosomatic index and shell rate of grass carp

指标 parameter	肝体比 hepatosomatic index	空壳率 shell rate
生态草鱼 ecological grass carp (n=9)	1.48±0.22	92.50±0.72
饲料草鱼 feed grass carp (n=10)	1.69±0.27	92.38±0.69

注：n. 样本数，下同

Notes: n. the number of samples, the same below

表 2 草鱼pH值和肌肉系水力对比

Tab. 2 The comparison of pH value and water holding capacity in muscle of grass carp

指标 parameter	生态草鱼 ecological grass carp	饲料草鱼 feed grass carp
pH [#]	5.80±0.06	5.79±0.16
滴水损失/% drip loss	1.36±0.23 [*]	1.72±0.37
冷冻渗出率/% flesh leaching loss	4.36±2.42	5.37±2.56
失水率/% liquid loss	17.17±5.63	15.24±2.89

注：*. 差异显著(P<0.05)，下同。#. 生态草鱼样本数为6，饲料草鱼样本数为5

Notes: *. significant difference (P<0.05), the same below. #. the number of samples in ecological grass carp is six and number of samples in feed grass carp is five

表 3 草鱼肌肉质构特性指标对比

Tab. 3 The comparison of texture profiles parameters in muscle of grass carp

指标 parameter	生态草鱼 ecological grass carp	饲料草鱼 feed grass carp
硬度/g hardness	4932.56±460.37	5493.91±1760.58
弹性 springiness	0.49±0.05	0.53±0.05
凝聚性 cohesiveness	0.27±0.02	0.30±0.01
胶黏性/g gumminess	1341.40±234.60	1640.70±574.77
回复性 resilience	0.14±0.02	0.16±0.01

2.2 肌肉常规营养成分的测定结果

生态草鱼肌肉粗脂肪含量显著低于饲料草鱼(P<0.05)，水分、灰分、粗蛋白含量均无显著性差异(P>0.05)(表4)；生态草鱼肌肉矿物元素P和Fe含量显著高于饲料草鱼(P<0.05)，Mg、Mn和Cr含量均极显著高于饲料草鱼(P<0.01)(表5)。

表 4 草鱼肌肉营养成分对比(湿重)

Tab. 4 The comparison of proximate composition in muscle of grass carp (wet weight)

指标 parameter	生态草鱼 ecological grass carp	饲料草鱼 feed grass carp
水分/% moisture	77.29±0.56	77.74±0.56
灰分/% ash	1.44±0.26	1.53±0.28
粗脂肪/% crude fat	2.18±0.79 [*]	4.29±2.30
粗蛋白/% crude protein [#]	19.43±0.86	19.12±1.36

注：#. 样本数为5

Notes: #. the number of samples is five

表5 草鱼肌肉矿物元素含量对比(湿重)

Tab. 5 The comparison of mineral element content in muscle of grass carp (wet weight) $n=10$

指标 parameter	生态草鱼 ecological grass carp	饲料草鱼 feed grass carp
P/(mg/kg)	839.04±675.68 [*]	244.66±119.55
Mg/(mg/kg)	142.31±67.06 ^{**}	60.10±11.72
Fe/(mg/kg) [^]	6.71±8.01 [*]	0.99±0.18
Mn/(mg/kg) [^]	0.33±0.11 ^{**}	0.19±0.01
Cr/(mg/kg) [^]	0.40±0.26 ^{**}	0.02±0.01

注: **. 差异极显著($P<0.01$), 下同; ^. 微量元素
Notes: **. extremely significant difference ($P<0.01$), the same below. ^. trace element

2.3 肌肉氨基酸的测定结果

生态草鱼和饲料草鱼肌肉中常见的氨基酸均有17种, 包括人体必需氨基酸(EAA)7种、半必需氨基酸(HEAA)2种、非必需氨基酸(NEAA)6种(表6)。生态草鱼和饲料草鱼肌肉的谷氨酸含量最高, 分别达3.01%和2.78%; 天冬氨酸和赖氨酸次之; 胱氨酸含量最低, 分别仅为0.08%和0.07%。生态草鱼和饲料草鱼肌肉7种人体必需氨基酸中, 赖氨酸含量最高, 分别达1.89%和1.73%; 蛋氨酸含量最低, 分别仅为0.52%和0.47%。生态草鱼肌肉的17种氨基酸含量均高于饲料草鱼, 但均无显著性差异($P>0.05$), 且氨基酸总量(TAA)、EAA、HEAA、NEAA、鲜味氨基酸(FAA)、EAA/TAA、EAA/NEAA均无显著性差异($P>0.05$)。

2.4 肌肉氨基酸营养价值评价结果

根据测定的氨基酸含量和FAO/WHO评分标准模式分别计算出草鱼肌肉的氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI)(表7)。由AAS可知, 生态草鱼和饲料草鱼第一限制性氨基酸为缬氨酸, 第二限制性氨基酸为异亮氨酸。而根据CS, 生态草鱼和饲料草鱼的第一限制性氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸, 第二限制性氨基酸为缬氨酸。

2.5 肌肉脂肪酸的测定结果

生态草鱼和饲料草鱼肌肉中共检测到19种脂肪酸, 其中棕榈酸、花生四烯酸(ARA)、亚油酸(LA)、油酸、二十二碳六烯酸(DHA)和硬脂酸含量较高, 为主要脂肪酸(表8)。生态草鱼肌肉

表6 草鱼肌肉氨基酸含量对比(湿重)

Tab. 6 The comparison of amino acids content in muscle of grass carp (wet weight) $n=9, \%$

指标 parameter	生态草鱼 ecological grass carp	饲料草鱼 feed grass carp
苏氨酸 Thr [†]	0.82±0.06	0.77±0.06
缬氨酸 Val [†]	0.75±0.08	0.69±0.06
蛋氨酸 Met [†]	0.52±0.05	0.47±0.06
异亮氨酸 Ile [†]	0.64±0.07	0.58±0.05
亮氨酸 Leu [†]	1.47±0.10	1.34±0.13
苯丙氨酸 Phe [†]	0.77±0.05	0.69±0.05
赖氨酸 Lys [†]	1.89±0.14	1.73±0.17
组氨酸 His [†]	0.55±0.05	0.53±0.01
精氨酸 Arg [†]	0.61±0.08	0.54±0.08
天冬氨酸 Asp ^{†&}	2.05±0.13	1.85±0.17
谷氨酸 Glu ^{^&}	3.01±0.19	2.78±0.22
甘氨酸 Gly ^{^&}	0.90±0.09	0.86±0.02
丙氨酸 Ala ^{^&}	1.13±0.07	1.01±0.05
脯氨酸 Pro ^{&}	1.37±0.10	1.30±0.06
丝氨酸 Ser ^{&}	0.82±0.05	0.76±0.06
胱氨酸 Cys	0.08±0.02	0.07±0.01
酪氨酸 Tyr	0.63±0.04	0.58±0.06
氨基酸总量 Σ TAA	18.00±1.25	16.56±1.24
必需氨基酸总量 Σ EAA	6.85±0.55	6.27±0.57
半必需氨基酸总量 Σ HEAA	1.98±0.17	1.84±0.12
鲜味氨基酸总量 Σ FAA	7.09±0.47	6.50±0.42
非必需氨基酸总量 Σ NEAA	8.46±0.57	7.79±0.49
EAA/TAA	0.38±0.01	0.38±0.01
EAA/NEAA	0.81±0.02	0.80±0.03

注: †. 必需氨基酸; +. 半必需氨基酸; ^. 鲜味氨基酸; &. 非必需氨基酸

Notes: †. essential amino acids (EAA); +. half-essential amino acids (HEAA); ^. flavor amino acids (FAA); &. non-essential amino acids (NEAA)

脂肪酸中的豆蔻酸、花生五烯酸和DHA极显著低于饲料草鱼($P<0.01$), 十七碳烷酸显著低于饲料草鱼($P<0.05$), 硬脂酸显著高于饲料草鱼($P<0.05$), 其余均无显著性差异($P>0.05$)。饱和脂肪酸总量、单不饱和脂肪酸总量和多不饱和脂肪酸总量均无显著性差异($P>0.05$)。生态草鱼肌肉脂肪酸n-3系列总量、n-3/n-6比值、(EPA+

表 7 草鱼肌肉的必需氨基酸含量、AAS、CS及EAAI
 Tab. 7 The essential amino acid contents, AAS, CS and EAAI in muscle of grass carp

mg/g Pro

必需氨基酸 essential amino acid	FAO/WHO模式 FAO/WHO pattern	鸡蛋蛋白质模式 egg protein pattern	生态草鱼 ecological grass carp	饲料草鱼 feed grass carp	氨基酸评分 AAS		化学评分 CS	
					生态草鱼 ecological grass carp	饲料草鱼 feed grass carp	生态草鱼 ecological grass carp	饲料草鱼 feed grass carp
异亮氨酸 Ile	40.00	54.00	32.33	32.79	0.81	0.82	0.60	0.61
亮氨酸 Lue	70.00	86.00	74.66	75.51	1.07	1.08	0.87	0.88
赖氨酸 Lys	55.00	70.00	95.99	97.25	1.75	1.77	1.37	1.39
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	35.00	57.00	30.47	30.73	0.87	0.88	0.53	0.54
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	60.00	93.00	70.93	71.20	1.18	1.19	0.76	0.77
苏氨酸 Thr	40.00	47.00	41.48	43.10	1.04	1.08	0.88	0.92
缬氨酸 Val	50.00	66.00	37.92	38.79	0.76	0.78	0.57	0.59
合计 total	350.00	473.00	383.78	389.36				
氨基酸指数 EAAI			76.07	77.29				

DHA)/n-6比值极显著低于饲料草鱼($P<0.01$), 而 EPA+DHA显著低于饲料草鱼($P<0.05$), n-6系列总量无显著性差异($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 肌肉常规营养成分组成分析

肌肉是鱼体的主要营养部位, 其营养成分组成和含量对鱼体肌肉品质的评价起着重要作用。鱼类肌肉品质主要受物种、栖息环境和食物组成的影响。而不同养殖模式下鱼类栖息环境和食物组成通常不同, 因而养殖模式对鱼类肌肉品质好坏至关重要^[11, 22]。生态草鱼和饲料草鱼肌肉水分、灰分、粗蛋白含量均无显著性差异, 但生态草鱼肌肉粗脂肪含量却显著低于饲料草鱼。本研究结果与野生鱼类如草鱼^[3]、四鼻须鲤^[7]、鳊^[5]、金头鲷^[8]等肌肉脂肪含量显著低于养殖鱼类相符, 但野生花羔红点鲑^[6]、刀鲚^[4]粗脂肪含量却显著高于养殖群体。野生鱼类一般生活在自然水域, 以摄食浮游动植物、水生植物或底栖动物等为食, 而养殖鱼类多生活在养殖池塘, 以摄食人工配合饲料或鲜活小鱼等为主。野生鱼类和养殖鱼类栖息环境和食物组成往往不同, 它们之间粗脂肪含量的显著性差异表明鱼类肌肉脂肪不仅仅与食物组成有关, 还可能与鱼类栖息环境相关^[8, 23-24]。

鱼类肌肉含有大量人体所必需的矿物质, 如K、Ca、Na、Mg、P、Cu、Zn、Fe、Se、

Mn和Cr等。矿物质组成不仅影响鱼肉营养价值, 而且影响鱼肉产品的货架期和风味。Fe不仅是血红蛋白和肌红蛋白的重要组成元素, 而且对防止机体脂类氧化、保持肉味有重要作用, 从而影响肌肉品质^[25]。Fe和Mg离子呈咸味, Mn离子呈苦味。马玲巧等^[13]研究表明, 池塘组和水库网箱养殖组斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)由于池塘与清江水库水体的水化学、盐度和温度等不同而导致肌肉矿物元素含量差异显著。本研究中, 种青养鱼模式下, 池埂和池中平滩种植黑麦草、小米草和苏丹草等青饲料投喂生态草鱼; 而精养模式下, 饲料草鱼则在养殖全程摄食人工配合饲料。生态草鱼与饲料草鱼矿物元素的显著性差异可能与食物组成密切相关。

3.2 肌肉氨基酸组成分析

本研究中, 生态草鱼和饲料草鱼肌肉中的谷氨酸含量最高, 其次为天冬氨酸、赖氨酸等, 这与鳊^[5, 26]、草鱼^[3, 26]肌肉氨基酸含量高低排列次序基本一致。生态草鱼和饲料草鱼肌肉中EAA/TAA均为0.38, EAA/NEAA分别为0.81、0.80。根据FAO/WHO的理想模式, 质量较好的蛋白质组成的氨基酸EAA/TAA为40%左右, EAA/NEAA则在60%以上^[20]。本研究中, 生态草鱼和饲料草鱼肌肉只有EAA/NEAA符合上述指标要求, 而EAA/TAA略低于上述标准要求, 表明生态草

表 8 草鱼肌肉脂肪酸含量对比(湿重)

Tab. 8 The comparison of fatty acid content in muscle of grass carp (wet weight) $n=9$, %

指标 parameter	生态草鱼 ecological grass carp	饲料草鱼 feed grass carp
棕榈酸(C16:0) ^l	18.42±0.39	18.35±1.19
硬脂酸(C18:0) ^l	5.02±0.09 [*]	4.78±0.03
豆蔻酸(C14:0) ^l	0.35±0.04 ^{**}	0.52±0.03
油酸(C18:1) ^Δ	13.46±0.59	14.54±0.54
棕榈一烯酸(C16:1) ^Δ	1.68±0.14	1.77±0.27
十五碳一烯酸(C15:1) ^Δ	3.26±0.42	3.72±0.64
十七碳一烯酸(C17:1) ^Δ	0.23±0.05	0.27±0.06
花生一烯酸(C20:1) ^Δ	0.67±0.13	0.72±0.09
α-亚麻酸(ALA)(a-C18:3) [∩]	1.78±0.22	2.21±0.32
花生五烯酸(EPA)(C20:5) [∩]	1.14±0.10 ^{**}	1.74±0.07
二十二碳六烯酸(DHA)(C22:6) [∩]	7.80±0.58 ^{**}	8.96±0.17
亚油酸(LA)(C18:2) [§]	14.61±0.86	13.15±0.94
花生四烯酸(ARA)(C20:4) [§]	15.23±0.34	15.14±0.28
γ-亚麻酸(GLA)(γ-C18:3) [§]	0.21±0.01	0.25±0.03
花生二烯酸(C20:2) [~]	1.74±0.09	1.79±0.11
花生三烯酸(C20:3) [~]	2.91±0.14	3.04±0.12
二十四碳烷酸(C24:0)	1.42±0.09	1.57±0.17
十五碳烷酸(C15:0)	0.14±0.01	0.18±0.03
十七碳烷酸(C17:0)	0.19±0.02 [*]	0.23±0.01
其他 others	9.74±0.27	7.08±0.96
饱和脂肪酸总量 ΣSFA	23.78±0.37	23.65±1.22
单不饱和脂肪酸总量 ΣMUFA	19.30±1.06	21.02±0.40
多不饱和脂肪酸总量 ΣPUFA	45.42±1.20	46.28±1.20
n-3 系列总量 Σn-3PUFAs	10.72±0.55 ^{**}	12.91±0.49
n-6 系列总量 Σn-6PUFAs	30.05±0.88	28.54±0.77
n-3/n-6	0.36±0.01 ^{**}	0.45±0.01
EPA+DHA	8.95±0.66 [*]	10.70±0.21
(EPA+DHA)/n-6	0.30±0.02 ^{**}	0.38±0.01

注: 脂肪酸检出限为0.05%, 脂肪酸检出结果为相对含量。l. 饱和脂肪酸; Δ. 单不饱和脂肪酸; ~. 多不饱和脂肪酸; ∩. n-3系列多不饱和脂肪酸; §. n-6系列多不饱和脂肪酸

Notes: the detection limit of fatty acids is 0.05%, the result of fatty acid detection is relative content. l. saturated fatty acids, Δ. monounsaturated fatty acids, ~. polyunsaturated fatty acids, ∩. n-3 polyunsaturated fatty acids, §. n-6 polyunsaturated fatty acids

鱼和饲料草鱼肌肉氨基酸组成平衡效果略差。

赖氨酸被称为“生长性氨基酸”, 主要参与

机体蛋白的合成^[5]。由AAS和CS可知, 生态草鱼和饲料草鱼肌肉赖氨酸均为最高。相比于赖氨酸含量甚低的谷物食品, 对于以谷物为主的膳食者来说, 食用草鱼可以弥补谷物食品中赖氨酸的不足, 从而提高人体对蛋白质的利用率^[27]。

动物蛋白质的鲜美程度主要取决于其鲜味氨基酸(FAA)的组成与含量。鲜味氨基酸中的谷氨酸和天冬氨酸为呈鲜味的特征氨基酸, 其中谷氨酸的鲜味最强; 而甘氨酸和丙氨酸是呈甘味的特征氨基酸。生态草鱼FAA总量高于饲料草鱼, 但差异不显著, 这与野生和养殖草鱼结果^[3]相同, 表明生态草鱼与饲料草鱼肌肉风味相似, 而生态草鱼风味更接近于野生草鱼。

3.3 肌肉氨基酸营养价值评价分析

丁玉琴等^[26]根据AAS和CS得出草鱼肌肉的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸。程汉良等^[3]根据AAS得出草鱼肌肉的第一限制性氨基酸为缬氨酸, 由CS得出草鱼肌肉的第一限制性氨基酸为色氨酸。而本研究根据AAS得出生态草鱼和饲料草鱼第一限制性氨基酸均为缬氨酸; 而根据CS得到生态草鱼和饲料草鱼的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸, 本研究结果与上述研究结果具有一定差异。已有文献研究表明, 同为野生大黄鱼, 背部、腹部和全鱼肌肉氨基酸组分含量各不相同^[9]。丁玉琴等^[26]实验草鱼肌肉样品取自鱼体头后与尾柄前之间两侧白色肌肉; 而程汉良等^[3]实验草鱼肌肉样品取自侧线以上背鳍以下背部肌肉。丁玉琴等^[26]和程汉良等^[3]测定的草鱼肌肉第一限制性氨基酸结果的差异, 可能与肌肉取样部位不同有关。本研究中草鱼肌肉样品取自侧线上方, 实验结果与丁玉琴等^[26]和程汉良等^[3]研究结果的差异同样可能与肌肉取样部位不同有关。EAAI能反映必需氨基酸含量与标准蛋白质相比接近的程度。生态草鱼和饲料草鱼肌肉的EAAI分别为76.07和77.29, 饲料草鱼略高于生态草鱼, 表明相比生态草鱼, 饲料草鱼肌肉必需氨基酸组成更为合理, 更符合人类对氨基酸的营养需求。

3.4 肌肉脂肪酸组成分析

生态草鱼和饲料草鱼肌肉饱和脂肪酸(SFA)总量、单不饱和脂肪酸(MUFA)总量和多不饱和脂肪酸(PUFA)总量均无显著性差异, 但EPA+DHA含量显著低于饲料草鱼。生态草鱼以

摄食青饲料为主,而饲料草鱼则摄食人工配合饲料,生态草鱼和饲料草鱼食物组成上的不同可能是引起生态草鱼和饲料草鱼肌肉脂肪酸差异的原因^[3, 6, 26, 28]。生态草鱼和饲料草鱼肌肉n-3系列PUFA有3种,分别为 α -亚麻酸(AIA)、二十碳五烯酸和DHA; n-6系列PUFA有3种,分别为亚油酸、 γ -亚麻酸(GLA)和ARA。研究表明n-6系列PUFA有增加肿瘤的危险,而n-3系列PUFA则有较好的肿瘤抑制作用^[29]。因此, n-3系列PUFA和n-6系列PUFA的比例必须维持动态平衡。生态草鱼n-3系列PUFA极显著低于饲料草鱼,而n-6系列PUFA不显著地高于饲料草鱼, n-3/n-6比值极显著低于饲料草鱼,表明相比生态草鱼,饲料草鱼有较好的肿瘤抑制作用。生态草鱼n-3系列PUFA极显著低于饲料草鱼,可能是由于生态草鱼摄食青饲料后自身并不能合成足够的n-3系列PUFA所致^[30],而饲料草鱼摄食的人工配合饲料中含有足够的n-3系列PUFA供其吸收利用。但本研究结果与野生和养殖草鱼^[3]及野生和养殖鳊结果^[5]正好相反。

3.5 肌肉物理和质构特性分析

系水力是指肌肉受到外力作用时(冷冻、加热、切碎等)通过自身的物理形态和化学构成对水分的保有和束缚能力。肌肉pH值下降^[31]、净电荷含量减少、细胞蛋白降解和肌肉收缩及遗传因素等都会影响系水力^[32],且pH值与系水力呈正相关。滴水损失、冷冻渗出率和失水率都是评价肌肉系水力的重要指标,滴水损失越小,冷冻渗出率越小,失水率越小,系水力越强^[31]。生态草鱼肌肉pH值不显著地低于饲料草鱼,失水率不显著地高于饲料草鱼,但滴水损失显著低于饲料草鱼,冷冻渗出率不显著地低于饲料草鱼,这些指标表明生态草鱼肌肉系水力强于饲料草鱼。杂食性的鲤、肉食性的鲇(*Silurus asotus*)和草食性的草鱼由于食性的不同,其系水力截然不同。草鱼系水力最强,鲤居中,鲇最弱^[31]。生态草鱼以摄食青饲料为主,而饲料草鱼则摄食人工配合饲料,生态草鱼和饲料草鱼食物组成明显不同。本研究中种青养鱼模式下生态草鱼和普通精养模式下饲料草鱼肌肉系水力的差异可能是由于其食物组成的不同所引起。

质构与外观、营养、风味共同构成了食品的四大大品质要素,是食品组织特性的重要指标

之一。质构特性与鱼类食性存在一定的相关性,草食性鱼类、杂食性鱼类和滤食性鱼类质构特性有所不同^[33]。已有研究表明,鱼肉的质构特性与其肌肉中脂肪含量有关^[34]:肌肉脂肪含量与肌肉硬度呈显著负相关^[25],而硬度是反映质构特性的主要因素之一^[33]。生态草鱼肌肉的脂肪含量显著低于饲料草鱼,但两种养殖模式的草鱼肌肉硬度、弹性、凝聚性、胶黏性和回复性均无显著性差异。生态草鱼以摄食青饲料为主,而饲料草鱼则摄食人工配合饲料,两种模式养殖的草鱼食物组成有所不同,但食物组成的不同并未对其肌肉物性产生显著影响。

生态草鱼和饲料草鱼在肌肉物性特性方面相近,但与饲料草鱼相比,生态草鱼具有肌肉系水力强、低脂肪和矿物质元素含量高的特点。

参考文献:

- [1] 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及比较[J]. 广东农业科学, 2011, 38(1): 132-134.
Bi X M, Yu E M, Wang G J, *et al.* Comparison and analysis of nutrition composition of grass carp raised with grass and artificial feed[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(1): 132-134 (in Chinese).
- [2] 张纹,苏永全,王军,等. 5种常见养殖鱼类肌肉营养成分分析[J]. 海洋通报, 2001, 20(4): 26-31.
Zhang W, Su Y Q, Wang J, *et al.* Biochemical composition of five common reared fishes[J]. Marine Science Bulletin, 2001, 20(4): 26-31 (in Chinese).
- [3] 程汉良,蒋飞,彭永兴,等. 野生与养殖草鱼肌肉营养成分比较分析[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 266-270.
Cheng H L, Jiang F, Peng Y X, *et al.* Comparison of nutrient composition of muscles of wild and farmed grass carp, *Ctenopharyngodon idellu*[J]. Food Science, 2013, 34(13): 266-270 (in Chinese).
- [4] 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.
Tang X, Xu G C, Xu P, *et al.* A comparison of muscle nutrient composition between wild and cultured *Coilia nasus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(3): 514-520 (in Chinese).
- [5] 戴阳军,刘峥兆,王雪峰,等. 野生与养殖鳊鱼肌肉的营养成分比较[J]. 食品科学, 2012, 33(17): 258-262.
Dai Y J, Liu Z Z, Wang X F, *et al.* Comparison of nutrient composition in muscles of wild and farmed

- yellowcheek carp[J]. Food Science, 2012, 33(17): 258-262 (in Chinese).
- [6] 黄权, 孙晓雨, 谢从新. 野生与养殖花羔红点鲑肌肉营养成分的比较分析[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(1): 75-78.
- Huang Q, Sun X Y, Xie C X. Comparative analysis on the nutrition components of muscles between wild and farmed *Salvelinus malma* populations[J]. Journal of South China Agricultural University, 2010, 31(1): 75-78 (in Chinese).
- [7] 李倩, 杨丽娟, 凌去非, 等. 微山湖四鼻须鲤养殖群体和野生群体肌肉营养成分分析[J]. 水生生态学杂志, 2010, 3(2): 149-152.
- Li Q, Yang L J, Ling Q F, et al. Analysis of muscle nutrition composition in wild and cultured *Cyprinus carpio* in Weishan Lake[J]. Journal of Hydroecology, 2010, 3(2): 149-152 (in Chinese).
- [8] Grigorakis K, Alexis M N, Taylor K D A, et al. Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(5): 477-484.
- [9] 周飘苹, 金敏, 吴文俊, 等. 不同养殖模式、投喂不同饵料及不同品系大黄鱼营养成分比较[J]. 动物营养学报, 2014, 26(4): 969-980.
- Zhou P P, Jin M, Wu W J, et al. Comparison of nutrient components of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* Richardson) cultured in different modes, fed different feeds and from different strains[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(4): 969-980 (in Chinese).
- [10] 高露姣, 黄艳青, 夏连军, 等. 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较[J]. 水产学报, 2011, 35(11): 1668-1676.
- Gao L J, Huang Y Q, Xia L J, et al. Comparison of flesh quality of farmed fugu, *Takifugu rubripes* from different culture models[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1668-1676 (in Chinese).
- [11] 王志铮, 付英杰, 杨磊, 等. 三种养殖模式下日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*) 养成晶体色和肌肉品质的差异[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(4): 1042-1049.
- Wang Z Z, Fu Y J, Yang L, et al. Variations in body color and flesh quality of *Anguilla japonica* populations in different culture models[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(4): 1042-1049 (in Chinese).
- [12] 叶鸽, 郝淑贤, 李来好, 等. 不同养殖模式罗非鱼品质的比较[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 196-200.
- Ye G, Hao S X, Li L H, et al. Comparison of meat quality of tilapia under different culture modes[J]. Food Science, 2014, 35(2): 196-200 (in Chinese).
- [13] 马玲巧, 亓成龙, 曹静静, 等. 水库网箱和池塘养殖斑点叉尾鲴肌肉营养成分和品质的比较分析[J]. 水产学报, 2014, 38(4): 532-537.
- Ma L Q, Qi C L, Cao J J, et al. Comparative study on muscle texture profile and nutritional value of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) reared in ponds and reservoir cages[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(4): 532-537 (in Chinese).
- [14] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.3-2010 食品安全国家标准食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- The Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.3-2010 National food safety standard Determination of Moisture in Foods[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2010 (in Chinese).
- [15] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.5-2010 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- The Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.5-2010 National food safety standard Determination of Protein in Foods[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2010 (in Chinese).
- [16] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.6-2003 食品安全国家标准食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- The Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.6-2003 National food safety standard Determination of Fat in Foods[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2004 (in Chinese).
- [17] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.4-2010 食品安全国家标准食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- The Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.4-2010 National food safety standard Determination of Ash in Foods[S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2010 (in Chinese).
- [18] 刘丹赤, 邵长明. 鱼体内重金属含量测定及其分布状况的研究[J]. 中国测试技术, 2007, 33(4): 121-122, 132.
- Liu D C, Shao C M. Assessment of contents of heavy metals in fish body and its regular distributed pattern[J]. China Measurement Technology, 2007, 33(4): 121-122, 132 (in Chinese).

- [19] 李凤林, 张忠, 李凤玉. 食品营养学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 24-49.
Li F L, Zhang Z, Li F Y. Food Nutrition[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 24-49 (in Chinese).
- [20] Pellett P L, Young V R. Nutritional evaluation of protein foods[M]. Tokyo: The United National University Publishing Company, 1980: 26-29.
- [21] 桥本芳郎. 养鱼饲料学[M]. 蔡完其, 译. 北京: 中国农业出版社, 1980: 104-115.
Hashimoto Y. Feed and Feeding[M]. Cai W Q, trans. Beijing: China Agriculture Press, 1980: 104-115 (in Chinese).
- [22] 吉红, 孙海涛, 单世涛. 池塘与网箱养殖匙吻鲟肌肉营养成分及品质评价[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 261-267.
Ji H, Sun H T, Shan S T. Evaluation of nutrient components and nutritive quality of muscle between pond-and cage-reared paddlefish (*Polyodon spathula*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(2): 261-267 (in Chinese).
- [23] Rueda F M, López J A, Martínez F J, *et al.* Fatty acids in muscle of wild and farmed red porgy, *Pagrus pagrus* [J]. Aquaculture Nutrition, 1997, 3(3): 161-165.
- [24] González 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(6-7): 720-726.
- [25] 关磊, 朱瑞俊, 李小勤, 等. 普通草鱼与脆化草鱼的肌肉特性比较[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(5): 748-753.
Guan L, Zhu R J, Li X Q, *et al.* Muscle characteristics comparison between grass carp and crisped grass carp [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(5): 748-753 (in Chinese).
- [26] 丁玉琴, 刘友明, 熊善柏. 鳙与草鱼肌肉营养成分的比较研究[J]. 营养学报, 2011, 33(2): 196-198.
Ding Y Q, Liu Y M, Xiong S B. The comparative study on nutritional components between the muscle of *Elopichthys bambusa* and *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2011, 33(2): 196-198 (in Chinese).
- [27] 邴旭文, 王进波. 池养南美蓝对虾与南美白对虾肌肉营养品质的比较[J]. 水生生物学报, 2006, 30(4): 453-458.
Bing X W, Wang J B. A comparative study of nutritional quality in the muscle of *Penaeus stylirostris* and *Penaeus vannamei* in the cultured-pond [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(4): 453-458 (in Chinese).
- [28] 万松良, 汪亮, 李杰, 等. 鳙含肉率和肌肉营养成分分析[J]. 淡水渔业, 2008, 38(1): 27-29.
Wan S L, Wang L, Li J, *et al.* Flesh content and nutritive composition of yellowcheek carp (*Elopichthys bambusa*) [J]. Freshwater Fisheries, 2008, 38(1): 27-29 (in Chinese).
- [29] 韦娜, 糜漫天. n-6/n-3多不饱和脂肪酸不同比例对乳腺癌细胞缝隙连接细胞通讯的影响[J]. 第三军医大学学报, 2006, 28(4): 338-341.
Wei N, Mi M T. Roles of different n-6/n-3 polyunsaturated fatty acid ratio in gap junctional intercellular communication in breast cancer cell lines [J]. Acta Academiae Medicinae Militaris Tertiae, 2006, 28(4): 338-341 (in Chinese).
- [30] Li C, Liu P, Ji H, *et al.* Dietary n-3 highly unsaturated fatty acids affect the biological and serum biochemical parameters, tissue fatty acid profile, antioxidation status and expression of lipid-metabolism-related genes in grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Aquaculture Nutrition, 2015, 21(3): 373-383.
- [31] 李蕾, 周继术, 贺玉良, 等. 鲤、鲂及草鱼肌肉理化特性的比较研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(1): 82-86.
Li L, Zhou J S, He Y L, *et al.* Comparative study of muscle physicochemical characteristics in common *Cyprinus carpio*, *Silurus asotus* and *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Journal of Hydroecology, 2013, 34(1): 82-86 (in Chinese).
- [32] 张玉伟, 罗海玲, 贾慧娜, 等. 肌肉系水力的影响因素及其可能机制[J]. 动物营养学报, 2012, 24(8): 1389-1396.
Zhang Y W, Luo H L, Jia H N, *et al.* Effect factors of water holding capacity of meats and its potential mechanism [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(8): 1389-1396 (in Chinese).
- [33] 胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 69-73.
Hu F, Li X D, Xiong S B, *et al.* Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components [J]. Food Science, 2011, 32(11): 69-73 (in Chinese).
- [34] Câmara A K F I, Pollonio M A R. Reducing animal fat in bologna sausage using pre-emulsified linseed oil: Technological and sensory properties [J]. Journal of Food Quality, 2015, 38(3): 201-212.

The study of muscular nutritional components and fish quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) in ecological model of cultivating grass carp with grass

CHENG Huihui¹, XIE Congxin¹, LI Dapeng^{1*}, XIAO Yehong², TIAN Xing¹,
CHEN Jie¹, TANG Rong¹, QI Chenglong¹, MA Lingqiao¹

(1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, National Technology System for Conventional Freshwater Fish Industries, Hubei Provincial Engineering Laboratory for Pond Aquaculture, Freshwater Aquaculture Collaborative Innovation Center of Hubei Province, Key Laboratory of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China;
2. Honghu Hongxianxi Aquaculture Professional Cooperatives, Honghu 433200, China)

Abstract: To investigate the effects of muscular nutritional components and fish quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) in ecological model of cultivating grass carp with grass, the ecological grass mainly fed with grass and feed grass carp fed with artificially formulated feed, respectively 16 individuals, were randomly selected to measure some indicators. These indicators included water holding capacity and texture profiles parameters in muscle, contents of nutritional components, mineral elements, amino acids and fatty acids in muscle. The results showed no significant difference in hepatosomatic index and shell rate between ecological grass carp and feed grass carp. Compared with these feed grass carp, significantly lower value in drop loss, no significantly lower value in flesh leaching loss, no significantly higher value in liquid loss and no significant difference in pH value were observed in muscle of ecological grass carp. Hardness, springiness, cohesiveness, gumminess and resilience in muscle had no significant difference between ecological grass carp and feed grass carp. The content of crude fat in muscle of ecological grass carp was significantly lower than that of feed grass carp, while the contents of moisture, ash and crude protein in muscle had no significant difference. The contents of phosphorus (P) and iron (Fe) in muscle of ecological grass carp were significantly higher than those of feed grass carp, and the contents of magnesium (Mg), manganese (Mn) and chromium (Cr) in muscle of ecological grass carp were very significantly higher than that of feed grass carp. The compositions of amino acids of ecological grass carp and feed grass carp were basically the same, containing 17 amino acids, wherein the essential amino acids in muscle is 6.85% and 6.27%, respectively. The essential amino index (EAAI) of feed grass carp (77.29) was higher than that of ecological grass carp (76.07). The ecological grass carp and feed grass carp both contained 19 fatty acids where in the contents of palmitic acid, arachidonic acid (ARA), linoleic acid (LA), oleic acid, docosahexaenoic acid (DHA) and stearic acid were high, as the main fatty acid. The contents of eicosapentanoic (EPA) + docosahexaenoic acid (DHA) had significance difference (were 8.95% and 10.70%, respectively). These results indicated that there was no significant difference in muscular texture profiles. The ecological grass carp had characteristics of higher water-holding ability, lower content of fat and higher content of mineral elements than those in muscle of feed grass carp.

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; muscle; water holding capacity; texture profiles; nutritional components; mineral elements; amino acids; fatty acids

Corresponding author: LI Dapeng. E-mail: ldp@mail.hzau.edu.cn

Funding projects: Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-46-15); Fundamental Research Funds for the Central Universities (2662015PY119)