



梁释介, 丁宁, 冯淳淞, 闫有利, 罗永康. 河流网箱养殖与池塘养殖鲤鱼营养及品质评价[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(05): 154-162.

LIANG Shijie, DING Ning, FENG Chunsong, YAN Youli, LUO Yongkang. Nutrition and quality evaluation of carps cultured in river-cages and ponds[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(05): 154-162.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2023.05.14

河流网箱养殖与池塘养殖鲤鱼营养及品质评价

梁释介¹ 丁宁¹ 冯淳淞¹ 闫有利² 罗永康^{1*}

(1. 中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 北京 100083;

2. 辽宁省淡水水产科学研究院, 辽宁 辽阳 111000)

摘要 为较好的了解评价河流网箱养殖与普通池塘养殖鲤鱼鱼肉的的营养品质及特点, 分别对2种养殖方式的鲤鱼肉的感官、色泽、肌苷酸(IMP)含量、营养成分(粗蛋白、粗脂肪、水分、灰分)、氨基酸组成、蛋白质体外消化率、模拟消化后相对分子质量分布以及蒸煮得率进行分析评价。结果表明: 1) 感官评价表明河流网箱养殖鲤鱼与池塘养殖鲤鱼相比, 生肉清香味更强、土腥味和鱼腥味更低, 熟肉具有更好的质地和口感, 河流网箱养殖鲤鱼生、熟肉总体可接受度均更高; 河流网箱养殖鲤鱼的亮度值 L^* 和白度值显著($P < 0.05$)高于池塘养殖鲤鱼; 2) 河流网箱养殖鲤鱼的主要鲜味物质IMP含量显著($P < 0.05$)高于池塘养殖鲤鱼; 3) 河流网箱养殖鲤鱼蛋白质质量分数(18.16%)显著($P < 0.05$)高于池塘养殖鲤鱼(17.43%), 水分与灰分含量没有显著差异; 河流网箱养殖鲤鱼的总氨基酸含量、总必需氨基酸含量、总非必需氨基酸含量、总鲜味氨基酸含量、总必需氨基酸总量与总氨基酸含量的比值、总必需氨基酸含量与总非必需氨基酸含量的比值均显著($P < 0.05$)高于池塘养殖鲤鱼; 河流网箱养殖鲤鱼蛋白质体外模拟消化率(67.13%)显著($P < 0.05$)高于池塘养殖鲤鱼(55.86%); 4) 池塘养殖鲤鱼的蒸煮得率(78.91%)显著($P < 0.05$)低于河流网箱养殖鲤鱼(83.11%)。与池塘养殖鲤鱼相比, 河流网箱养殖鲤鱼具有更多的蛋白质和鲜味物质, 气味、质地和口感更佳, 且较有利于人体消化吸收。

关键词 鲤鱼; 河流网箱养殖; 池塘养殖; 营养品质

中图分类号 S917.4

文章编号 1007-4333(2023)05-0154-09

文献标志码 A

Nutrition and quality evaluation of carps cultured in river-cages and ponds

LIANG Shijie¹, DING Ning¹, FENG Chunsong¹, YAN Youli², LUO Yongkang^{1*}

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Freshwater Fisheries Research Academy of Liaoning Province, Liaoyang 111000, China)

Abstract The aim of this study was to better understand and evaluate the nutritional quality and characteristics of carp cultured in river-cages and common ponds. The sensory evaluation, color, inosinic acid (IMP) content, nutrient composition (crude protein, crude fat, moisture, ash), amino acid composition, protein digestibility *in vitro*, relative molecular mass distribution after simulated digestion and cooking yield of carp meat from two differently cultured carp meat were analyzed and evaluated. The results showed that: The sensory evaluation discovered that the raw meat of river-cages cultured carp had a stronger clear flavor, lower earthy smell and fishlike smell, and the cooked meat had a better texture and taste compared to ponds cultured carp. The overall acceptability of both raw and cooked meat of river-cages cultured carp was higher. The brightness value L^* and whiteness were significantly ($P < 0.05$) higher in

收稿日期: 2022-07-30

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金(CARS-45)

第一作者: 梁释介(ORCID: 0000-0003-0890-7435), 硕士研究生, E-mail: cau-lsj@cau.edu.cn

通讯作者: 罗永康(ORCID: 0000-0002-5679-4933), 教授, 主要从事水产品加工及贮藏研究, E-mail: luoyongkang@cau.edu.cn

river-cages cultured carp meat than those in ponds cultured carp meat. The content of IMP, which is the main fresh taste substance, was significantly ($P < 0.05$) higher in river-cages cultured carp meat than that in ponds cultured carp meat. The protein mass fraction of carp cultured in river-cages (18.16%) was significantly higher than that of carp cultured in ponds (17.43%) ($P < 0.05$), but there was no significant difference in moisture and ash contents. The total amino acid content, total essential amino acid content, total non-essential amino acid content, total umami amino acid content, the ratio of total essential amino acid to total amino acid content, and the ratio of total essential amino acid content to total non-essential amino acid content in river-cages cultured carp meat were significantly higher than those in ponds cultured carp meat ($P < 0.05$). *In vitro* simulated digestibility of protein was significantly ($P < 0.05$) higher in river-cages cultured carp meat (67.13%) than in ponds cultured carp meat (55.86%). The steaming yield of carp meat from ponds culture (78.91%) was significantly ($P < 0.05$) lower than that of river-cages culture carp meat (83.11%). In conclusion, compared with ponds cultured carp, river-cages cultured carp has more protein and umami substances, better smell, texture and taste, and is more conducive to human digestion and absorption.

Keywords common carp; river-cages aquaculture; ponds aquaculture; nutrition quality

鲤鱼(*Cyprinus carpio*)属鲤科,是我国重要的淡水鱼。鲤鱼富含优质蛋白质,营养价值高,尤其在夏季体型肥硕结实、味道鲜美,广受消费者喜爱^[1],2020年我国鲤鱼产量达289.6万t^[2]。鲤鱼品质受到多种因素的影响,如养殖环境、饵料、年龄和季节等^[3]。随着社会经济的发展,消费者对鲤鱼的营养品质提出了更高的要求。

淡水鱼的养殖方式有池塘养殖、集装箱式养殖、稻田养殖、网箱养殖等^[4-5]。关于不同养殖模式对鱼肉营养品质的影响研究已有报道。叶香尘等^[6]分析了稻田和池塘养殖模式下金边鲤和建鲤肌肉营养成分、理化特性和质构特性,并进行营养价值评价,发现稻田金边鲤肌肉比建鲤和池塘金边鲤肌肉更富有嚼劲,其肌肉中必需氨基酸、不饱和脂肪酸及高度不饱和脂肪酸含量更高,且组成比例更符合人体需求。池塘养殖的匙吻鲟肌肉粗脂肪总量、n-3多不饱和脂肪酸/n-6多不饱和脂肪酸的比值、二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸总量均显著低于网箱养殖的匙吻鲟,网箱养殖的匙吻鲟具有较好的食用价值和保健作用^[7]。微流水养殖的齐口裂腹鱼肌肉中氨基酸总量、必需氨基酸总量、鲜味氨基酸总量、n-3多不饱和脂肪酸/n-6多不饱和脂肪酸的比值均显著高于网箱养殖的齐口裂腹鱼,微流水养殖的齐口裂腹鱼拥有更加鲜美的味道和更好的口感,且营养价值更高^[8]。以上研究结果均表明不同养殖方式、不同饲喂条件均能造成鱼肌肉营养成分和品质出现差异。网箱养殖一般位于环境优良的湖泊和河流,通过投喂天然饵料,模拟鱼类野生生活环境,从而获得品质优良的养殖鱼。目前鲤鱼的养殖方式以传统池塘养殖为主,研究证明不同养殖模式因其环境的水质状

况及养殖用料都对鱼类的生长特性、肉质风味等有重要影响^[9-14],而关于河流网箱养殖与池塘养殖模式下鲤鱼鱼肉品质差异对比的报道较少。

本研究拟采用感官评价得分、色泽、肌苷酸含量评价2种养殖方式的鲤鱼肉的感官品质,采用营养成分(粗蛋白、粗脂肪、水分、灰分)、氨基酸组成、蛋白质体外模拟消化率、模拟消化后相对分子质量分布以及蒸煮得率等指标评价2种养殖方式鲤鱼肉的营养品质,旨在全面了解新养殖模式下鲤鱼鱼肉的营养品质,为推动绿色养殖渔业的高效发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于2022年在中国农业大学食品科学与营养工程学院进行。河流网箱养殖鲤鱼与池塘养殖鲤鱼由盘锦辽河绿水湾休闲娱乐有限公司提供。河流网箱养殖鲤鱼先在池塘中培育至1kg,之后转移至辽河入海口的网箱中养殖20天,整个养殖期间定期投喂天然沙蚕。池塘养殖鲤鱼投喂普通饲料,不投喂天然沙蚕。本试验所用河流网箱养殖鲤鱼平均体长(52.50±0.50)cm,平均体重(1.87±0.03)kg;所用池塘养殖鲤鱼平均体长(51.33±0.47)cm,平均体重(1.72±0.03)kg。

胰蛋白酶、胃蛋白酶、氨基酸标品及肌苷酸标品购自美国Sigma-Aldrich公司;异硫氰酸苯酯、高氯酸、浓硫酸、盐酸、氨水、氢氧化钠、氯化钠、三乙胺均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司;甲醇、乙醇、乙腈为色谱纯,购自美国Fisher Scientific公司。

1.2 仪器及设备

FE-20 pH计,上海梅特勒托利多科技有限公

司;LC-16 高效液相色谱仪,日本 Shimadzu 公司;TGL16A 冷冻离心机,长沙平凡仪器仪表有限公司;NR110 手持色差仪,深圳 3nh 科技有限公司;SM-28-10 马弗炉,天津市华北实验电炉厂;KDY-9820 凯氏定氮仪,北京通润源机电仪器设备公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品前处理

选取大小均一、形态相近的 2 种养殖方式鲤鱼,均用塑料袋充氧密封运输至实验室,击晕后迅速进行去鳞、去头、去内脏处理,沿脊椎取背部白肉后立即测定各项指标。

1.3.2 感官评价

感官评价参考刘月月等^[15]的方法。由 11 名(5 男 6 女)训练有素的实验室成员进行感官评价。每位评价人员分别对生鲜和蒸煮过的鲤鱼肉进行感官评价,生鲜鱼肉的评价指标包括质地、色泽、清香味、土腥味、鱼腥味、总体可接受度;蒸煮后鱼肉的评价指标包括质地、口感、色泽、清香味、土腥味、熟鱼味、汤汁浑浊度、总体可接受度。以 1~5 分对以上指标进行评价,分数越高表示指标越好或气味越强烈。

1.3.3 色泽测定

采用 NR110 手持色差仪对鲤鱼背部肉的特定 3 个部位进行肉色测定,结果以 L^* (亮度值), a^* (红绿值), b^* (黄蓝值)和白度值表示。每个部位测量 3 次,取平均值。

1.3.4 肌苷酸(IMP)质量摩尔浓度测定

取 1 g 绞碎的鱼肉于离心管中,加入 10% 高氯酸 2 mL,5 000 r/min 离心 3 min,取上清于 50 mL 离心管中;向沉淀中加入 2 mL 5% 冷高氯酸,涡旋振荡 1 min,5 000 r/min 离心 3 min,洗涤 2 次,合并上清液。用 10 mol/L 氢氧化钾、1 mol/L 氢氧化钾、5% 高氯酸调节上清液 pH 至 6.4 ± 0.05 ,5 000 r/min 离心 3 min,重复清洗沉淀 1 次,合并上清液。然后用中和冷高氯酸定溶于预冷后的 10 mL 容量瓶中,反复颠倒摇匀 15 次以上,取 7~8 mL,用高效液相色谱测定 IMP 质量摩尔浓度,结果以 $\mu\text{mol/g}$ 计。采用 COSMOSIL 5C18-PAQ 反相色谱柱(4.6 I. D. \times 300 mm);流速:1.0 mL/min;柱温:35 $^{\circ}\text{C}$;检测波长:254 nm;进样量:20 μL ^[16]。

1.3.5 基本营养成分测定

粗蛋白测定参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[17];水分测定参考

GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[18];灰分测定参考 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》^[19];粗脂肪测定采用 Bligh 等^[20]的方法。

1.3.6 氨基酸组成及质量分数测定

称取 60 mg 样品于水解管中,加入 6 mL 6 mol/L HCl 并在 110 $^{\circ}\text{C}$ 下水解 22 h。取冷却后的水解液 1 mL 于称量皿中,在 42 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱内干燥至盐酸完全挥发,加入 0.1 mol/L HCl 复溶。取复溶后的样品 200 与离心管中,与 1 000.1 mol/L 异硫氰酸苯酯和 100 三乙胺混合均匀。在室温黑暗条件下放置 1 h 后加入 400 正己烷,充分震荡 1 min 后静置。分层后,取下层溶液,用高效液相色谱测定其氨基酸组成与质量分数。采用 Agilent ZORBAX SB-C18 液相色谱柱(4.6 I. D. \times 250 mm);检测波长:254 nm;进样量:5;流动相 A:10 mmol/L 的磷酸缓冲液(pH 6.9);流动相 B:乙腈。

1.3.7 蛋白体外消化率的测定

参照 Gao^[11]的方法,精确称取 10 g 绞碎的鱼肉样品,加入 100 mL 去离子水,加入鱼肉质量 1% 的胃蛋白酶,用 6 mol/L HCl 调 pH 至 2.0,37 $^{\circ}\text{C}$ 酶解 1 h。再用 2 mol/L NaOH 将 pH 调至 8.0 后加入鱼肉质量 1% 的胰蛋白酶,37 $^{\circ}\text{C}$ 酶解 1 h 后消化结束,立即 95 $^{\circ}\text{C}$ 水浴灭酶 10 min。将消化液离心(10 000 r/min,5 min),分离上清液和沉淀,冻干。取上清液的冻干粉测定其相对分子质量分布,取沉淀的冻干粉测定其蛋白消化率。采用凯氏定氮法测定消化前鱼肉和消化后沉淀的蛋白质质量,蛋白消化率计算公式为:

$$\text{DT}/\% = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100$$

式中:DT 表示蛋白消化率,%; M_0 表示消化前鱼肉的蛋白质质量,g; M_1 表示消化后沉淀的蛋白质质量,g。

1.3.8 模拟消化后相对分子质量分布

参照 Wang 等^[22]的方法将待测样品溶解在缓冲液(含 0.1% 三氟乙酸的 45% 乙腈水溶液)中配置成 2 mg/mL 的样品,并且用孔径为 0.22 μm 的滤膜过滤,用高效液相色谱测定其相对分子质量。色谱柱型号为 TSK gel G2000 SWXL 凝胶柱(7.8 I. D. \times 300 mm),流动相为含 0.1% 三氟乙酸和 45% 乙腈水溶液,设定每次进样 25 μL ,洗脱流速为 0.5 mL/min,检测紫外光波长设定为 220 nm。用低聚肽校正曲

线标准品建立保留时间和相对分子质量对数之间的校准曲线。

1.3.9 蒸煮得率

取背部肉切成 1.5 cm×1.5 cm×1.0 cm 大小的鱼块,用电子天平精确称重(W_0),于 85 °C 水浴锅中加热 15 min。取出后待鱼块冷却至室温,吸去表面水分后再精确称重(W_1)并记录,计算公式如下:

$$\text{蒸煮得率} / \% = \frac{W_1}{W_0} \times 100$$

1.4 数据处理

试验结果采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析,显著性检验采用 Duncan 检验,在 $P < 0.05$ 水平上差异为显著。使用 Excel 2021 绘图。每组试验平

行测定 3 次,结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 感官评价

河流网箱养殖鲤鱼生肉的质地、色泽和清香味平均分数略高于池塘养殖鲤鱼生肉,河流网箱养殖鲤鱼生肉的鱼腥味和土腥味平均分数低于池塘养殖鲤鱼生肉(图 1(a))。河流网箱养殖鲤鱼熟肉的质地和口感平均分数高于池塘养殖鲤鱼生肉,河流网箱养殖鲤鱼熟肉的色泽和汤汁浑浊度略低于池塘养殖鲤鱼生肉(图 1(b))。从总体可接受度来看,河流网箱养殖鲤鱼更受感官评价人员青睐。

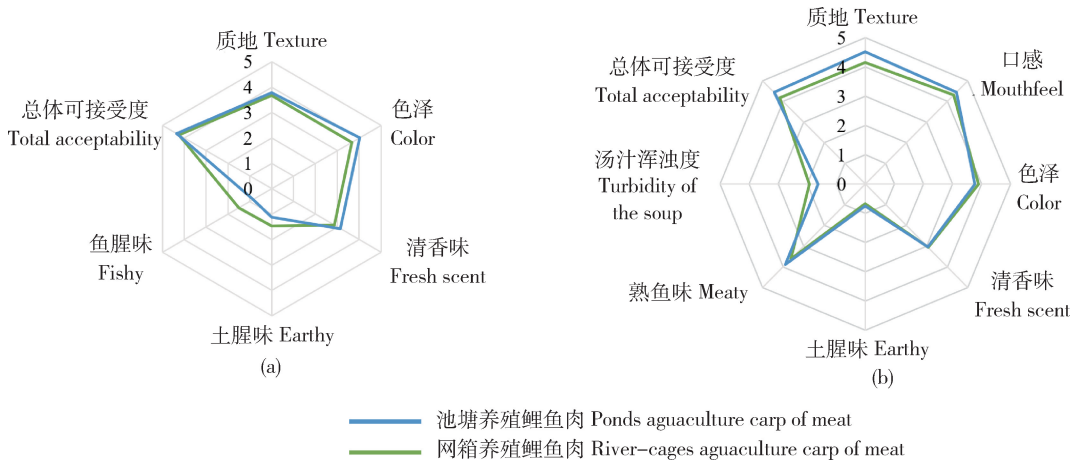


图 1 池塘与河流网箱养殖生(a)、熟(b)鲤鱼肉感官评价雷达图

Fig. 1 Sensory evaluation radar chart of raw (a) and cooked (b) carp cultured in ponds and river-cages

2.2 色泽

池塘养殖鲤鱼的亮度值 L^* 和白度值显著

($P < 0.05$) 低于河流网箱养殖鲤鱼肉,红绿值 a^* 和黄蓝值 b^* 无显著性差异(表 1)。

表 1 池塘与河流网箱养殖鲤鱼肉色泽比较

Table 1 Color comparison between ponds and river-cages cultured carp meat

色泽指标 Color parameter	池塘养殖 Ponds aquaculture	网箱养殖 Cages aquaculture
L^*	36.32±0.91 b	40.83±0.92 a
a^*	0.52±0.03 a	0.47±0.13 a
b^*	-0.40±0.10 a	-0.21±0.22 a
白度值 Whiteness	36.33±0.91 b	40.86±0.93 a

注:同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$). The same below.

2.3 肌苷酸(IMP)质量摩尔浓度

池塘养殖和河流网箱养殖鲤鱼肉 IMP 的质量摩尔浓度分别为 2.95 和 5.85 $\mu\text{mol/g}$ 。池塘养殖鲤鱼肉的 IMP 的质量摩尔浓度显著 ($P < 0.05$) 低于河流网箱养殖鲤鱼肉。

2.4 营养组分

池塘养殖鲤鱼肉的粗蛋白和粗脂肪含量显著 ($P < 0.05$) 低于河流网箱养殖鲤鱼肉,水分含量与

灰分含量没有显著差异(表 2)。

2.5 氨基酸组成及含量

为了更好地比较 2 种鱼肉的营养价值,本试验测定了新鲜鱼肉的氨基酸组成与含量,结果见表 3。河流网箱养殖鲤鱼肉中天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸、甘氨酸、苏氨酸、丙氨酸、缬氨酸、半胱氨酸、异亮氨酸、赖氨酸的质量分数显著 ($P < 0.05$) 高于池塘养殖鲤鱼肉。2 种养殖方式鲤鱼肉中质量分数最高的

表 2 池塘与河流网箱养殖鲤鱼肉营养组分的质量分数

Table 2 Mass fraction of nutrient components of ponds and river-cages cultured carp meat %

指标 Parameter	池塘养殖 Ponds aquaculture	网箱养殖 Cages aquaculture
粗蛋白 Crude protein	17.43±0.20 b	18.16±0.23 a
粗脂肪 Crude fat	1.08±0.23 b	1.41±0.17 a
水分 Moisture	81.43±0.24 a	80.87±1.76 a
灰分 Ash	1.86±0.02 a	1.74±0.29 a

表 3 池塘与河流网箱养殖鲤鱼肉中氨基酸组成与质量分数

Table 3 Amino acid composition and content of ponds and river-cages cultured carp meat g/100 g

氨基酸 Amino acid	质量分数 Mass fraction		氨基酸 Amino acid	质量分数 Mass fraction	
	池塘养殖 Ponds aquaculture	网箱养殖 Cages aquaculture		池塘养殖 Ponds aquaculture	网箱养殖 Cages aquaculture
* 天冬氨酸 Aspartic acid	1.80±0.01 b	2.00±0.01 a	组氨酸 Histidine	1.00±0.08 a	1.09±0.03 a
* 谷氨酸 Glutamic acid	2.85±0.02 b	3.09±0.05 a	脯氨酸 Proline	0.60±0.05 a	0.38±0.03 b
* 甘氨酸 Glycine	0.93±0.04 b	1.32±0.13 a	精氨酸 Arginine	1.32±0.03 a	1.05±0.03 b
* 丙氨酸 Alanine	0.60±0.01 b	0.71±0.01 a	酪氨酸 Tyrosine	0.31±0.01 a	0.20±0.04 a
# 苏氨酸 Threonine	0.89±0.03 b	0.97±0.04 a	半胱氨酸 Cysteine	0.18±0.00 b	0.25±0.00 a
# 缬氨酸 Valine	0.71±0.02 b	0.78±0.04 a	总鲜味氨基酸 Total umami amino acids	6.20±0.06 b	7.00±0.16 a
# 甲硫氨酸 Methionine	0.53±0.01 a	0.50±0.01 a	总必需氨基酸 Total essential amino acid	6.50±0.02 b	6.95±0.06 a
# 异亮氨酸 Isoleucine	0.59±0.01 b	0.73±0.03 a	总非必需氨基酸 Total non-essential amino acids	10.18±0.03 b	10.66±0.08 a
# 亮氨酸 Leucine	1.37±0.05 a	1.42±0.03 a	总氨基酸 Total amino acids	16.68±0.03 b	17.61±0.07 a
# 苯丙氨酸 Phenylalanine	0.66±0.02 a	0.79±0.01 a			
# 赖氨酸 Lysine	1.75±0.04 a	1.81±0.08 a			
# 色氨酸 ^① Tryptophan	ND	ND			
丝氨酸 Serine	0.58±0.01 b	0.62±0.01 a			

注:①该方法无法测定色氨酸含量,ND表示未检出。*表示鲜味氨基酸,#表示必需氨基酸。

Note: ① The tryptophan content could not be determined by this method. ND represents not detected. * represents umami amino acids, and # represents essential amino acids.

氨基酸均为谷氨酸,质量分数最低的氨基酸均为半胱氨酸。池塘养殖鲤鱼肉总氨基酸(TAA)的质量分数、总必需氨基酸(TEAA)的质量分数、总非必需氨基酸(TNEAA)的质量分数、总鲜味氨基酸(TDAA)的质量分数均显著($P < 0.05$)低于河流网箱养殖鲤鱼肉。

2.6 蛋白质体外模拟消化率

池塘养殖和河流网箱养殖鲤鱼肉的蛋白质体外模拟消化率分别为 55.86% 和 67.13%,池塘养殖鲤鱼肉的蛋白体外模拟消化率显著($P < 0.05$)低于河流网箱养殖鲤鱼肉。

2.7 模拟消化后相对分子质量分布

池塘养殖与河流网箱养殖鲤鱼肉经体外胃肠模拟消化后产物中相对分子质量小于 500 的肽分别占 17.52% 和 17.39%,相对分子质量小于 1 000 的肽分别占 38.75% 和 39.85%,相对分子质量小于 2 000 的肽分别占 63.58% 和 64.92%,均没有显著差异。

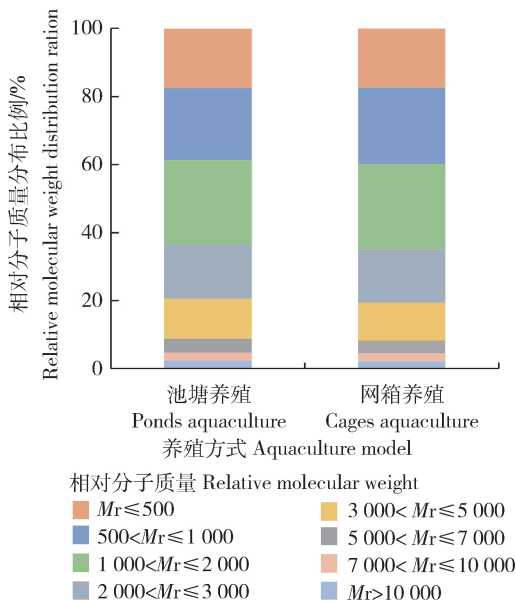


图2 池塘与河流网箱养殖鲤鱼肉经体外模拟消化后相对分子质量分布

Fig. 2 Relative molecular weight distribution of carp meat cultured in ponds and river-cages after simulated digestion *in vitro*

2.8 蒸煮得率

池塘养殖与河流网箱养殖鲤鱼肉的蒸煮得率分别为 78.91% 和 83.11%。池塘养殖鲤鱼的蒸煮得率显著($P < 0.05$)低于河流网箱养殖鲤鱼。

3 讨论

3.1 2种养殖方式鲤鱼肉感官品质比较分析

养殖鲤鱼生肉具有更好的质地和色泽,且清香味更强、鱼腥味和土腥味更淡;河流网箱养殖鲤鱼熟肉的质地和口感更佳;河流网箱养殖鲤鱼生、熟肉总体可接受度更佳。这可能是由于网箱布置于辽河入海口,养殖区宽阔、水质优良、水流更新速度较快,水体不易富集有害物质;而池塘养殖空间范围有限,水体容易受到污染,富集有害物质,鱼体更易受到污染,产生不良气味,进而影响鱼肉品质。鱼肉的色泽受到脂肪含量、色素细胞以及肌原纤维结构的影响^[23]。河流网箱养殖鲤鱼肉亮度值 L^* 和白度值更大说明其肌原纤维结构更紧实。这可能与河流网箱养殖鲤鱼游动更充分、捕食行动更为活跃有关。

肌苷酸(IMP)又称次黄嘌呤核苷酸,是鱼体内ATP代谢过程的中间产物,广泛的分布于体内,具有一定的生物活性,参与生物能量代谢的调节^[24-25],并且IMP是鱼肉主要呈味物质,含量越高鱼肉越新鲜,味道越鲜美^[26-27]。IMP的生成和降解主要在鱼体尸僵时发生。鱼类在死后几个小时内ATP迅速降解,导致肌苷酸逐渐累积,随后逐渐降解,并产生苦味的次黄嘌呤(Hx)。IMP的生成主要由来自于鱼肉本身的内源酶催化,与鱼体所带的微生物无关,IMP的降解则由鱼肉内源酶和微生物的酸性磷酸酶共同催化^[28]。河流网箱养殖鲤鱼肉IMP含量显著($P < 0.05$)高于池塘养殖鱼肉,说明河流网箱养殖鲤鱼肉味道更鲜美,这可能是由于池塘养殖鱼肉中降解ATP的相关内源酶活性较弱,鱼体所带微生物较多,能产生大量降解IMP的酶。此外,河流网箱养殖鲤鱼肉的蒸煮得率显著($P < 0.05$)高于池塘养殖鱼肉,鱼肉在蒸煮过程中的高温作用会导致鱼肉肌原纤维蛋白变性,蛋白质空间结构发生变化,导致部分水分流失^[29],河流网箱养殖鲤鱼肉的蒸煮得率更高表明其肌原纤维蛋白在蒸煮过程中热变性程度更小,持水能力更强,蒸煮后鱼肉更加细嫩,这与感官评价结果“河流网箱养殖鲤鱼熟肉的质地和口感更佳”一致。

3.2 2种养殖方式鲤鱼肉营养品质比较分析

河流网箱养殖鲤鱼肉的粗蛋白和粗脂肪含量较高,而河流网箱养殖鲤鱼在整个养殖期间饲喂天然沙蚕这种高蛋白质、高脂肪食物^[30]可能是主要原因。

蛋白质的氨基酸组成及含量是评价鱼肉蛋白质营养价值的重要指标^[31]。根据FAO/WHO的氨基酸标准模式,高质量蛋白质需要满足的条件为氨基酸组成高质量蛋白质需要满足的条件为,氨基酸组成中,总必需氨基酸质量分数(w_{TEAA})与总氨基酸质量分数(w_{TAA})的比值 $>40\%$,总必需氨基酸质量分数(w_{TEAA})与总非必需氨基酸质量分数(w_{TNEAA})的比值 $>60\%$ ^[32]。池塘与河流网箱养殖鲤鱼肉 w_{TEAA} 与 w_{TAA} 的比值分别为 37.96% 和 39.49%,池塘与河流网箱养殖鲤鱼肉 w_{TEAA} 与 w_{TNEAA} 的比值分别为 63.83% 和 65.25%,说明池塘与河流网箱养殖鲤鱼肉氨基酸平衡较好,都属于优质蛋白质。而河流网箱养殖鲤鱼肉 w_{TEAA} 与 w_{TAA} 的比值显著($P<0.05$)高于池塘养殖鲤鱼肉,表明河流网箱养殖鲤鱼肉的蛋白质品质优于池塘养殖鲤鱼。鱼肉中鲜味氨基酸的组成和含量与鱼肉的鲜美程度有关^[33],其中天冬氨酸和谷氨酸是呈鲜味的特征氨基酸,甘氨酸和丙氨酸是呈甘味的特征氨基酸^[34]。河流网箱养殖鲤鱼的鲜味氨基酸和IMP含量均显著($P<0.05$)高于池塘养殖鲤鱼肉,说明河流网箱养殖鲤鱼肉味道更鲜美,风味更佳。

为更好地比较2种养殖方式鲤鱼肉的蛋白质营养价值,本试验通过体外模拟消化测定了鱼肉的蛋白质体外模拟消化率。鱼肉中蛋白质在消化道内被蛋白酶酶解成大小不一的肽段,蛋白质的消化率越高,表示其越容易被机体的消化吸收^[35]。河流网箱养殖鲤鱼肉的蛋白体外模拟消化率更高,表明其更容易被人体消化吸收。

4 结 论

本研究采用感官评价得分、色泽、肌苷酸含量评价河流网箱养殖与池塘养殖鲤鱼的感官品质,采用营养成分(粗蛋白、粗脂肪、水分、灰分)、氨基酸组成、蛋白质体外模拟消化率、模拟消化后相对分子质量分布以及蒸煮得率等指标评价营养品质。河流网箱养殖鲤鱼肉鲜味物质(IMP)含量较池塘养殖鲤鱼肉高,感官评价结果显示其具有更好的口感和风味。河流网箱养殖鲤鱼肉肌纤维结构更紧实,呈现出更好的色泽,并且蛋白质和脂肪含量、体外模拟消化率、总氨基酸含量、总必需氨基酸含量、总非必需氨基酸含量、总鲜味氨基酸含量、总必需氨基酸含量与总氨基酸含量的比值、总必需氨基酸含量与总非必需氨基酸含量的比值均显著高于池塘养殖鲤鱼肉,

表明河流网箱养殖鲤鱼肉氨基酸组成更均匀、含量更高、营养价值更高,是优秀的蛋白质来源。

参考文献 References

- [1] Mohanty B P, Mahanty A, Ganguly S, Mitra T, Karunakaran D, Anandan R. Nutritional composition of food fishes and their importance in providing food and nutritional security[J]. *Food Chemistry*, 2019, 293: 561-570
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会编制.中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2021:24-25
Fisheries and Fisheries Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. *China Fisheries Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 24-25 (in Chinese)
- [3] 宋咏.三峡库区水域牧场放养与池塘养殖鳊肌肉品质和消化酶活力以及形态的比较研究[D].重庆:西南大学,2014
Song Y. Comparative analyses of muscle nutritional composition, digestion enzymes activities, dietary and morphology of silver carp and bighead carp in the Three Gorges Reservoir water ranch and the farm pond[D]. Chongqing: Southwest University, 2014 (in Chinese)
- [4] Kari Z A, Wee W, Hamid N K A, Mat K, Rusli N D, Khalid H N M, Sukri S A M, Harun H C, Dawood M A O, Hakim A H, Khoo M I, Razek A E, Goh K W, Wei L S. Recent advances of phytobiotic utilization in carp farming: a review[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2022, 2022: 1-10
- [5] 乔振民,韩迎亚,刘有华,王情楠,安贤惠,李联泰.6种微生态制剂对鲤鱼养殖水体水质的影响[J].江苏农业科学,2020,48(12):159-162
Qiao Z M, Han Y Y, Liu Y H, Wang Q N, An X H, Li N T. Effects of six microecological preparations on water quality of carp culture water [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48 (12): 159-162 (in Chinese)
- [6] 叶香尘,邹辉,刘康,韦玲静,黄杰,张桂姣,张盛,莫飞龙,吕业坚.池塘和稻田养殖模式对金边鲤和建鲤肌肉品质的影响[J].水产学报,2020,44(8):1296-1305
Ye X C, Zou H, Liu K, Wei L J, Huang J, Zhang G J, Zhang S, Mo F L, Lü Y J. Effects of pond and paddy field culture models on muscle quality of Jinbian carp and Jian carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(8): 1296-1305 (in Chinese)
- [7] 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)
- [8] 冯德品,董舰峰,张金平,王哲,吴昊,何志刚,顾泽茂,杨军.网箱与微流水养殖的齐口裂腹鱼肌肉营养成分的比较与分[J].水产学杂志,2017,30(4):17-22
Feng D P, Dong J F, Zhang J P, Wang Z, Wu H, He Z G, Gu Z M, Yang J. Comparison and quality evaluation of nutritive composition in muscle of *Schizothorax prenanti* reared in cages and flowing water [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2017, 30(4): 17-22 (in Chinese)
- [9] Islam S, Bhowmik S, Majumdar P R, Srzednicki G, Rahman M, Hossain M A. Nutritional profile of wild, pond-, gher- and cage-cultured

- tilapia in Bangladesh[J]. *Heliyon*, 2021, 7(5): e06968
- [10] 史德华. 鲤鱼饲料质量、河南地区池塘鲤鱼的生产性能与效益分析[D]. 苏州: 苏州大学, 2019
Shi D H. Feed quality of *Cyprinus carpio*, production performance and benefit analysis of pond common carp in Henan Province[D]. Suzhou: Soochow University, 2019 (in Chinese)
- [11] Gao S, Li D P, Hong H, Shu R, Cheng H, Luo Y K. Comparison of quality and nutritional attributes of pond-cultured and container-cultured snakehead (*Channa argus argus*) fillets after being boiled, fried, and baked[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(12): 4249-4259
- [12] 钟小群, 李向飞, 蔡万存, 徐超, 李其松, 黄健, 刘文斌. 发酵饲料对鲤鱼幼鱼生长性能、消化酶活性、肌肉品质和免疫机能的影响[J]. 南京农业大学学报, 2018, 41(1): 154-162
Zhong X Q, Li X F, Cai W C, Xu C, Li Q S, Huang J, Liu W B. Effects of fermented feed on growth performance, digestive enzyme activity, fillet quality and immunity of juvenile carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2018, 41(1): 154-162 (in Chinese)
- [13] 沈伟良, 吴雄飞, 申屠基康, 林淑琴. 不同饵料及养殖环境对大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 形态差异的影响[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(6): 70-77
Shen W L, Wu X F, Shentu J K, Lin S Q. The effects of different diets and culture environments on the morphological variations in the large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(6): 70-77 (in Chinese)
- [14] 郭全友, 邢晓亮, 姜朝军, 杨絮. 野生和养殖大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 品质特征与差异性探究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(10): 92-101
Guo Q Y, Xing X L, Jiang C J, Yang X. Quality characteristics and differences of wild and cultured large yellow croakers (*Larimichthys crocea*) [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(10): 92-101 (in Chinese)
- [15] 刘月月, 傅子昕, 张慧娟, 高嵩, 舒锐, 罗永康, 洪惠. 集装箱式与池塘养殖草鱼营养品质的分析比较[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(1): 193-202
Liu Y Y, Fu Z X, Zhang H J, Gao S, Shu R, Luo Y K, Hong H. Quality comparison of grass carp cultured in containers and ponds[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(1): 193-202 (in Chinese)
- [16] Zhuang S, Li Y, Hong H, Liu Y Y, Shu R, Luo Y K. Effects of ethyl lauroyl arginate hydrochloride on microbiota, quality and biochemical changes of container-cultured largemouth bass (*Micropterus salmonides*) fillets during storage at 4 °C[J]. *Food Chemistry*, 2020, 324: 126886
- [17] GB 5009.5—2016 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, 2017
GB 5009.5—2016 National standards for food safety determination of protein in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese)
- [18] GB 5009.3—2016 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, 2017
GB 5009.3—2016 National standards for food safety: Determination of moisture in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese)
- [19] GB 5009.4—2016 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, 2017
GB 5009.4—2016 National standards for food safety: Determination of ash in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese)
- [20] Bligh E G, Dyer W J. A rapid method of total lipid extraction and purification[J]. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 1959, 37(8): 911-917
- [21] Wang K, Luo Q W, Hong H, Liu H G, Luo Y K. Novel antioxidant and ACE inhibitory peptide identified from *Arthrospira platensis* protein and stability against thermal/pH treatments and simulated gastrointestinal digestion[J]. *Food Research International*, 2021, 139: 109908
- [22] Hughes J M, Oiseth S K, Purslow P P, Warner R D. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness[J]. *Meat Science*, 2014, 98(3): 520-532
- [23] Hong H, Regenstein J M, Luo Y K. The importance of ATP-related compounds for the freshness and flavor of post-mortem fish and shellfish muscle: A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(9): 1787-1798
- [24] Ocaño-Higuera V M, Maeda-Martínez A N, Marquez-Ríos E, Canizales-Rodríguez D F, Castillo-Yáñez F J, Ruíz-Bustos E, Graciano-Verdugo A Z, Plascencia-Jatomea M. Freshness assessment of ray fish stored in ice by biochemical, chemical and physical methods[J]. *Food Chemistry*, 2011, 125(1): 49-54
- [25] Karube I, Matsuoka H, Suzuki S, Watanabe E, Toyama K. Determination of fish freshness with an enzyme sensor system[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1984, 32(2): 314-319
- [26] Li J, Zhou G, Xue P, Dong X, Sun L. Spoilage microbes' effect on freshness and IMP degradation in sturgeon fillets during chilled storage [J]. *Food Bioscience*, 2021, 41: 101008
- [27] Zhang M C, Xia X F, Liu Q, Chen Q, Kong B H. Changes in microstructure, quality and water distribution of porcine longissimus muscles subjected to ultrasound-assisted immersion freezing during frozen storage[J]. *Meat Science*, 2019, 151: 24-32
- [28] 李大鹏. 鲤鱼贮藏过程中肌苷酸(IMP)变化规律及控制技术的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2019
Li D P. Inosine monophosphate (IMP) changes and controlling techniques of common carp (*Cyprinus carpio*) during storage[D]. Beijing: China Agricultural University, 2019 (in Chinese)
- [29] 胡园, 陈然, 胡利华, 闫茂仓, 李敏, 唐明, 朱洁, 龚洋洋, 曾国权, 陆荣茂. 不同地区养殖与野生沙蚕营养成分分析与比较[J]. 水产科学, 2018, 37(1): 93-99
Hu Y, Chen R, Hu L H, Yan M C, Li M, Tang M, Zhu J, Gong Y Y, Zeng G Q, Lu R M. Comparative analysis of nutrient composition between wild and cultured clamworm *Perinereis aibuhitensis* from different areas[J]. *Fisheries Science*, 2018, 37(1): 93-99 (in Chinese)
- [30] Kasozi N, Iwe G, Sadik K, Asizua D, Tibenda V, Namulawa V T. Dietary amino acid requirements of pebbly fish, *Alestes baremoze* (Joannis, 1835) based on whole body amino acid composition [J]. *Aquaculture Reports*, 2019, 14: 100197
- [31] 庄平, 宋超, 章龙珍. 舌虾虎鱼肌肉营养成分与品质的评价[J]. 水产学报, 2010, 34(4): 559-564
Zhuang P, Song C, Zhang L Z. Evaluation of nutritive quality and nutrient components in the muscle of *Glossogobius giurii* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(4): 559-564 (in Chinese)
- [32] 马秀慧, 易建华, 于丽娟, 王志坚. 生长过程中池塘养殖胭脂鱼幼鱼鱼体与蛋白营养变化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 338-343
Ma X H, Yi J H, Yu L J, Wang Z J. Variations of body composition and nutritive components of muscle among young farmed Chinese sucker,

Myxocyprinus asiaticus[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(11): 338-343 (in Chinese)

- [33] 段亚飞, 黄忠, 林黑着, 董宏标, 张家松. 深水网箱和池塘养殖凡纳滨对虾肌肉营养成分的比较分析[J]. *南方水产科学*, 2017, 13(2): 93-100

Duan Y F, Huang Z, Lin H Z, Dong H B, Zhang J S. Comparative analysis of muscle nutrient composition between floating-cage cultured

and pond-culture d Pacific white shrimps (*Litopenaeus vannamei*)[J]. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(2): 93-100 (in Chinese)

- [34] 游义娇, 佟平, 袁娟丽, 陈红兵, 高金燕. 食物蛋白质体外消化模型研究进展[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(6): 381-385

You Y J, Tong P, Yuan J L, Chen H B, Gao J Y. Progress on *in vitro* model for protein digestion [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(6): 381-385 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春



第一作者简介: 梁释介,男,在读硕士研究生,就读于中国农业大学食品科学与营养工程学院,专业为食品科学,研究方向为水产品贮运保鲜技术。就读期间以第一作者发表中文文章2篇,参与发表SCI文章2篇。参与国家重点研发计划蓝色粮仓项目(2018YFD0901001)、海南省重点研发项目(ZDYF2021XDNY154)、现代农业产业技术体系专项(CARS-45)。获得2021—2022年度中国农业大学“硕士学业一等奖学金”、2021-2022年度中国农业大学“崇德先锋奖学金”、2021—2022年度中国农业大学“三好学生”。

我爱好跑步,跑步能让我拥有健康的体魄并且保持清晰的头脑和拥有严格的自律能力。这使得我能一丝不苟地对待科研,在面对重复繁杂的实验时也能保持良好的心态并认真完成。



通讯作者简介: 罗永康,中国农业大学食品科学与营养工程学院教授、博士、博士生导师。国家大宗淡水鱼产业技术体系质量安全与营养品质评价岗位专家,国家淡水鱼加工技术研发分中心(北京)主任。中国水产学会《鱼类产品质量安全与营养健康》科学传播专家团队首席专家,中国水产学会理事,水产品加工和综合利用专业委员会委员,中国畜产品加工研究会常务理事。长期从事水产品、畜产品资源高效利用技术与理论研究,水产品贮藏保鲜与深加工产品开发等方面的教学科研工作。主持完成国家和省部级及企业委托各类科技项目60多项,获得授权发明专利30多项,在国内外主流期刊发表学术论文500多篇,爱思唯尔高被引中国学者(食品科学与工程),多项研究成果获省部级科技成果奖,培养了博士后、博士、硕士研究生150多名。